

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**«До захисту допущено»**

**Завідувач кафедри МАХНВ**

**\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко**

**(підпис)**

**“ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.**

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

**на здобуття освітнього ступеня магістр**

**з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування**

**спеціалізація: Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

**на тему: Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника**

**Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-71мп**

**Чеберда Владислав Олександрович**

**Керівник проекту канд. техн. наук, доц. А.Р. Степанюк**

**Консультанти:**

**охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях**

**канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун**

**(підпис)**

**розробка стартап-проекту**

**доц., канд. економ. наук Н.В. Юдіна**

**(підпис)**

**технологія виготовлення трубної плити теплообмінника**

**ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос**

**(підпис)**

**автоматичний контроль і керування процесом**

**ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос**

**(підпис)**

**Рецензент**

**(посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)**

**(підпис)**

**Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.**

**Студент \_\_\_\_\_ В.О. Чеберда**

**Київ – 2018**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**Освітній ступінь – магістр**

**спеціальність: 133 Галузеве машинобудування**

**спеціалізація: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Чеберді Владиславу Олександровичу

**1. Тема магістерської дисертації:** «Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника»

керівник магістерської дисертації Степанюк А.Р. кандидат технічних наук, доцент  
затверджена наказом по університету від \_\_\_\_ 2018 р. № \_\_\_\_\_

**2. Термін подання студентом магістерської дисертації:** 3 грудня 2018 р.

**3. Вихідні дані до дисертації:** Продуктивність реактора 15 т/год. Температура ізобутану: на вході в теплообмінник – 313 К, на виході – 275 К; температура в реакторі – 293 К. Тиск в реакторі 0,2 МПа.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій реактора та теплообмінника, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій,

а саме, параметричний, конструктивний, гідравлічний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

б) розробка стартап-проекту;

в) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою, скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;

д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення трубної плити теплообмінника, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління.

**5. Перелік графічного матеріалу:** принципова схема установки – А1, схема автоматичного керування – А1, складальні креслення: ректор – А1, теплообмінник – А1, поворотний стіл – А1, трубний пучок – А1, трубна плита – А2, корпус – А2, розподільча кришка – А2, опора – А3, днище – А3, ілюстрація графіків – 3 аркуші формату А2, ілюстрація технічної ідеї патенту – А2.

## **6. Консультанти розділів проекту**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Розробка стартап-проекту	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення трубної плити	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Двойнос Я.Г.		

**7. Дата видачі завдання** 1 вересня 2018 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання	Примітка керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності дисертації.	05.09.18	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	10.09.18	
3	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції апарата. Технічна характеристика установки, апарата. Добір матеріалів.	14.09.18	
4	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарата.	18.09.18	
5	Розробка складальних креслень апарата і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату.	25.09.18	
6	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	28.09.18	
7	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	05.10.18	
8	Розробка стартап-проекту.	08.10.18	
9	Розробка вимог до апарата з питань охорони праці.	15.10.18	

10	Розробка технології виготовлення трубної плити теплообмінника.	18.10.18	
11	Розробка автоматичного контролю і керування процесом блоку реакції.	09.11.18	
12	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності дисертації діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань.	28.11.18	
13	Попередній захист дисертації.	03.12.18	
14	Корегування дисертації за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту.	05.12.18	

**Студент**

\_\_\_\_\_В.О. Чеберда  
(підпис)

**Науковий керівник**

\_\_\_\_\_А.Р. Степанюк  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 665.612.2

Магістерська дисертація за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему "Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника" НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Степанюк А.Р. – К., 2018. – 134 с.: іл. 27. Виконавець Чеберда В.О. – Бібліогр.: 29 п.

Магістерська дисертація складається зі вступу, восьми розділів, висновків, переліку посилань із 29 найменувань і 6 додатків. Загальний обсяг роботи становить 199 с. основного тексту, 27 рисунків, 36 таблиць.

Метою роботи є модернізація установки полімеризації газів. Проект містить опис процесу полімеризації газів, конструкції реактора, теплообмінника, опис, призначення та області застосування обладнання, технічні характеристики, опис і обґрунтування вибраних конструкцій, розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкцій, рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки полімеризації газів, а також рівень стандартизації та уніфікації, розробку стартап-проекту.

Результати роботи можуть бути використані з навчальною метою на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв.

АЛКИЛАТ, ТЕПЛООБМІННІ ТРУБИ, ТЕПЛООБМІННИК, РЕАКТОР.

## РЕФЕРАТ

УДК 665.612.2

Магистерская диссертация по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему "Модернизация установки полимеризации газов производства базовых компонентов бензина с разработкой реактора и теплообменника" НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»; Руководитель Степанюк А.Р. – М., 2018. – 134 с.: ил. 27. Исполнитель Чеберда В.А. – Библиогр .: 29 п.

Магистерская диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка ссылок из 29 наименований и 6 приложений. Общий объем работы составляет 199 с. основного текста, 27 рисунков, 36 таблиц.

Целью работы является модернизация установки полимеризации газов. Проект содержит описание процесса полимеризации газов, конструкции реактора, теплообменника, описание, назначение и области применения оборудования, технические характеристики, описание и обоснование выбранных конструкций, расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций, рекомендации по монтажу и эксплуатации аппаратов установки полимеризации газов, а также уровень стандартизации и унификации, разработку стартап-проекта.

Результаты работы могут быть использованы в учебных целях на кафедре машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств.

АЛКИЛАТ, ТЕПЛООБМЕННЫЕ ТРУБЫ, ТЕПЛООБМЕННИК, РЕАКТОР.

## ABSTRACT

UDC 665.612.2

The master's thesis on the educational-professional program of master's degree on the theme "Modernization of the gas polymerization plant for the production of basic components of gasoline with the development of reactor and heat exchanger" National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Scientific supervisor A.R. Stepaniuk – K., 2018. – 134 p.: ill. – 27. Developer V.A. Cheberda – Bibliogr: 29 r.

The master's thesis consists of an introduction, eight sections, conclusions, a list of references of 29 names and 6 applications. The total volume is 199 pages of the main text, 27 figures, 36 tables.

The objective of the study is to upgrade the gas polymerization plant. The project contains a description of the gas polymerization process, the design of the reactor, the heat exchanger, description, purpose and scope of the equipment, specifications, description and justification of the selected constructions, calculations confirming the efficiency and reliability of designs, recommendations for the installation and operation of the apparatus for the polymerization of gases, and also the level of standardization and unification, the development of a startup project.

The results of the work can be used with the educational purpose at the department of machines and apparatuses of chemical and oil refining industries.

ALKYLATE, HEAT-EXCHANGE PIPES, HEAT EXCHANGER, REACTOR.



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

освітнього ступеня магістр

**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника**

Київ – 2018

## Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	12
Вступ.....	13
1 Призначення та область використання установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину .....	14
1.1 Опис технологічного процесу.....	14
1.2 Вибір типу апаратів, їх місце в технологічній схемі .....	15
2 Течнічна характеристика.....	17
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	18
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	18
3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами.....	20
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів. ....	22
3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки.....	23
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій. ....	34
4.1 Розрахунок теплообмінника .....	34
4.2 Розрахунок реактора. ....	62
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	97
5.1 Повітря робочої зони .....	98
5.2 Враження електричним струмом.....	99
5.3 Вплив високих температур.....	100
5.4 Виробниче освітлення .....	100
5.5 Пожежна небезпека та вибухонебезпека .....	101
5.6 Безпека технологічних процесів і устаткування.....	102
5.7 Надзвичайні ситуації.....	103

					ЛН71мп.066632.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Разроб.		Чеберда В.О.			Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Степанюк А.Р.					10	199
						КПІ ім. І. Сікорського, МАХНВ, ІХФ		
Н.Контр.								
Затв.								

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації .....	106
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	110
8 Розробка стартап-проекту .....	111
8.1 Опис ідеї проекту .....	111
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	112
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	113
8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	123
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	125
8.6 Висновки .....	128
Висновки .....	129
Выводы .....	130
Conclusion .....	131
Перелік посилань .....	132
Додаток А Технологія виготовлення трубної плити теплообмінника .....	136
Додаток Б Автоматичний контроль і керування процесом .....	150
Додаток В Документація до патентного дослідження .....	161
Додаток Г Таблиця ідентифікаторів, блок-схема розрахунку, програма розрахунку діаметрів штуцерів теплообмінника .....	172
Додаток К Патенти, які використані в патентному дослідженні .....	176
Додаток Л Публікації автора .....	187

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

$h$  – висота, м;

$c$  – прибавка до розрахункової товщини, м;

$D, d$  – діаметри, м;

$N$  – потужність, Вт;

$w$  – швидкість, м/с;

$G$  – масова витрата, кг/с;

$P$  – тиск, Па;

$T$  – температура, К;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м<sup>2</sup> / с;;

$x, y$  – мольна концентрація, кмоль/кмоль;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м<sup>2</sup> · К;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup> · К.

Критерії:

$Nu$  – критерій Нуссельта;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прантдля.

## Вступ

Алкилат широко використовується для синтезу високооктанових моторних палив. Алкилювання ізобутану олефінами процес, що базується на реакції взаємодії ізобутану з олефінами в присутності каталізатора з метою отримання бензинових фракцій, що характеризуються високою стабільністю і детонаційною стійкістю. Тому розробка устаткування для установки сірчаноокислого алкилювання, що відповідає сучасним вимогам, є важливою задачею.

Метою даної магістерської дисертації є модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника. З цією метою передбачено виконання необхідних розрахунків реактора для алкилювання, теплообмінника для охолодження ізобутану та розрахунків на міцність.

Робота включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, технічні характеристики основних апаратів установки, опис та обґрунтування обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, конструкції і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами, вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів, патентний огляд конструкцій основного обладнання установки, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів, охорону праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, визначення очікуваних техніко-економічних показників застосування установки, розробку та описання технологічного процесу виготовлення деталі та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

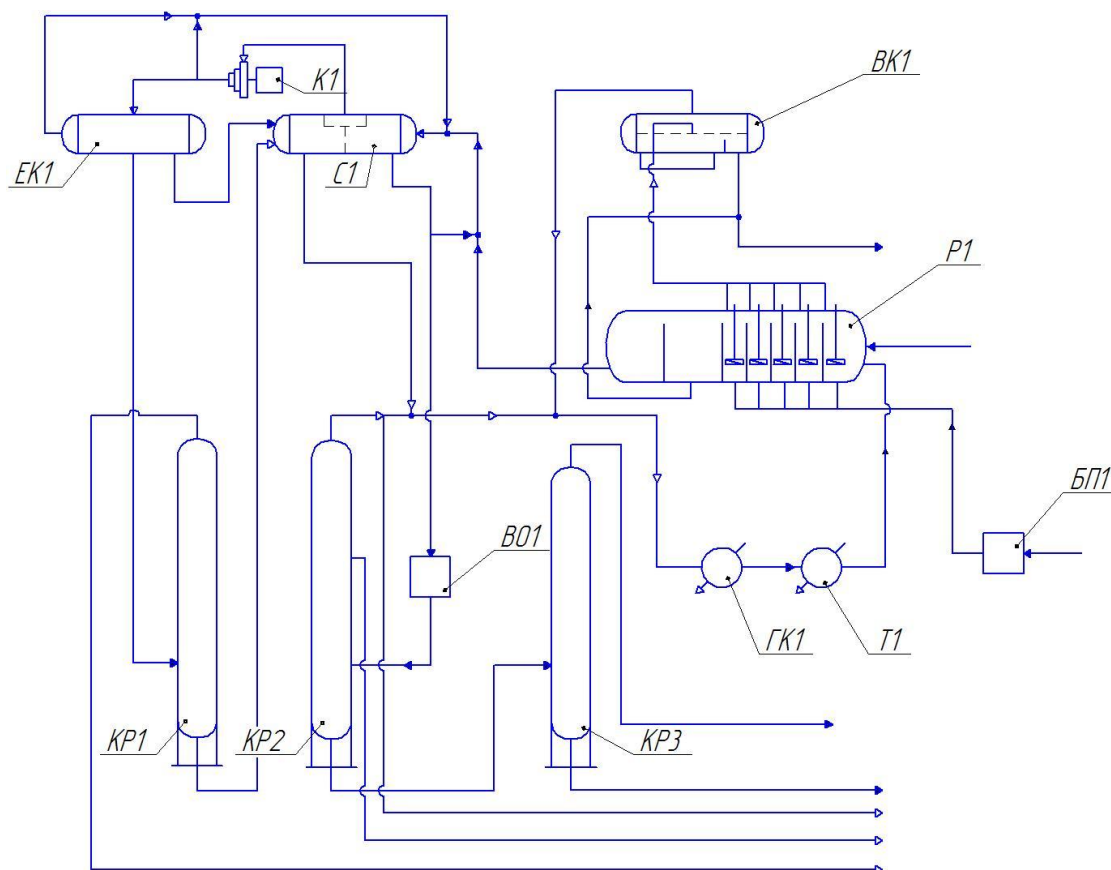
Завдання на магістерську дисертацію одержано у вересні 2018 року під час проходження переддипломної практики в інституті газу НАН України.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

# 1. Призначення та область використання установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину

## 1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема для полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину зображена на рисунку 1.



БП1 – блок підготовки сировини; Т1 - теплообмінник;  
Р1 – горизонтальний реактор алкілювання; ВК1 – відстійник кислоти;  
С1 – сепаратор; К1 – компресор; ГК1 – конденсатор; ЕК1 – ємність для  
газоконденсату; КР1, КР2, КР3 – ректифікаційна колона;  
ВО1 – вузол очищення алкілопродуктів від ефірів сірчаної кислоти

Рисунок 1 – Технологічна схема полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину.

Технологічна схема установки включає наступні блоки:

- блок підготовки сировини;
- реакторний;
- ректифікаційний;
- блок очищення алкилопродуктів;
- блок регенерації відпрацьованої сірчаної кислоти.

У блоці підготовки сировини відбувається змішування і усереднення потоків сировини, сушка, видалення сірчаних та дієнових вуглеводів. В реакторному блоці відбувається реакція ізобутану з олефінами в присутності каталізатора, в результаті чого утворюється алкилат, бензинові фракції, що характеризуються високою стабільністю і детонаційною стійкістю. Далі алкилат направляється на ректифікаційні колони для розділення на окремі складові. На блоці очищення алкилопродуктів, алкилат очищається від ефірів сірчаної кислоти. Сировиною установки полімеризації є ізобутан, бутан-бутиленова і пропан-пропіленова фракції, які отримуються переважно в процесах каталітичного і термічного крекінгу. Каталізатором є сірчана кислота з концентрацією від 99,5 до 86 % по моногідрату. В свіжій кислоті не допускається вміст вільного  $\text{SO}_3$ . Каталітичні властивості кислоти змінюються по мірі накопичення в ній вуглеводів, що розчиняються та води. Відпрацьована сірчана кислота на сучасних установках направляється на регенерацію методом високотемпературного термічного розчеплення [1].

## 1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

В технологічній схемі полімеризації газів зображених на рисунку 1, апарати які необхідно розрахувати знаходяться під позиціями Р1 – горизонтальний реактор алкилювання, Т1 – теплообмінник.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 15
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

## Реактор

В даній технологічній схемі, зображеній на рисунку 1, використовується горизонтальний реактор алкилювання. Процес алкилювання відбувається при температурах 293К. Реактор має п'ять секцій з мішалками та зону для відстоювання сірчаної кислоти. Мішалки застосовують для інтенсифікації хімічних реакцій сірчаноокислого алкилювання, запобігання утворенню осаду на стінках апарата і днищі.

## Теплообмінник

Теплообмінник призначений для охолодження ізобутну від 313К до 275К. Як охолоджуюче середовище застосовується розсіл. В якості розсолу виступає водний розчин хлористого кальцію (20,9%).

Для даного технологічного процесу та поставленої задачі найбільш придатний горизонтальний кожухотрубний теплообмінний апарат. Обрана конструкція має вигляд горизонтального двоходового по трубному простору теплообмінника. Ізобутан, що охолоджується, надходить у трубний простір, а розсіл поступає в міжтрубний простір. Різниця середніх температур теплоносіїв не перевищує 30К, тому можна приймати жорстку конструкцію без компенсаторів температурних деформацій.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		



## 2 Технічна характеристика основних апаратів установки

### Реактор

Тиск в апараті, Мпа	0,2;
температура реакції, К	293;
діаметр апарата, м	3,4;
об'єм апарата, м <sup>3</sup>	178;
маса апарата, кг	14860;
габаритні розміри:	
- довжина, м	21,715;
- висота, м	4,810;
- ширина, м	3,420.

### Теплообмінник

Тиск в трубному просторі, Мпа	0,2;
тиск в між трубному просторі, Мпа	0,15;
масова витрата ізобутану, кг/с	13,83;
початкова температура розсолу, К	267;
кінцева температура розсолу, К	273;
початкова температура ізобутану, К	313;
кінцева температура ізобутану, К	275;
загальна поверхня теплообміну, м <sup>2</sup>	208;
маса апарата, кг	5360;
габаритні розміри, м	
- довжина, м	7,080;
- висота, м	1,200;
- ширина, м	0,975.

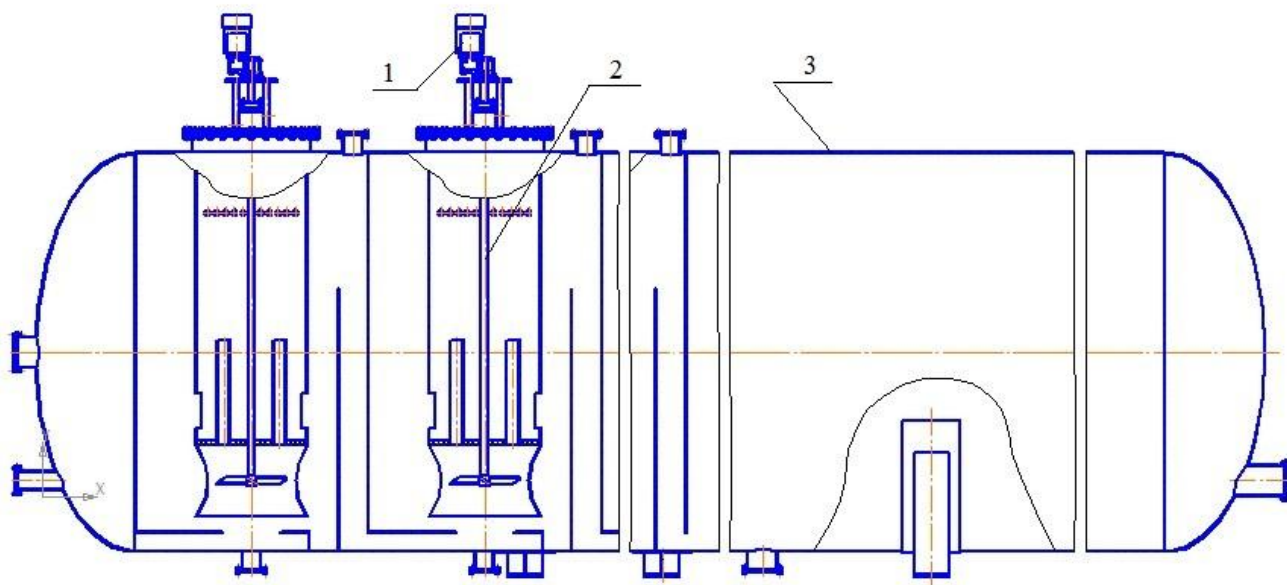
					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

##### Реактор

Горизонтальний реактор, конструктивна схема якого наведена на рисунку 3.1, призначений для проведення реакції алкилування в присутності каталізатора. Процес супроводжується відведенням теплоти, що виділяється в ході реакції.



1 – привід; 2 – мішалка; 3 – корпус.

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема реактора

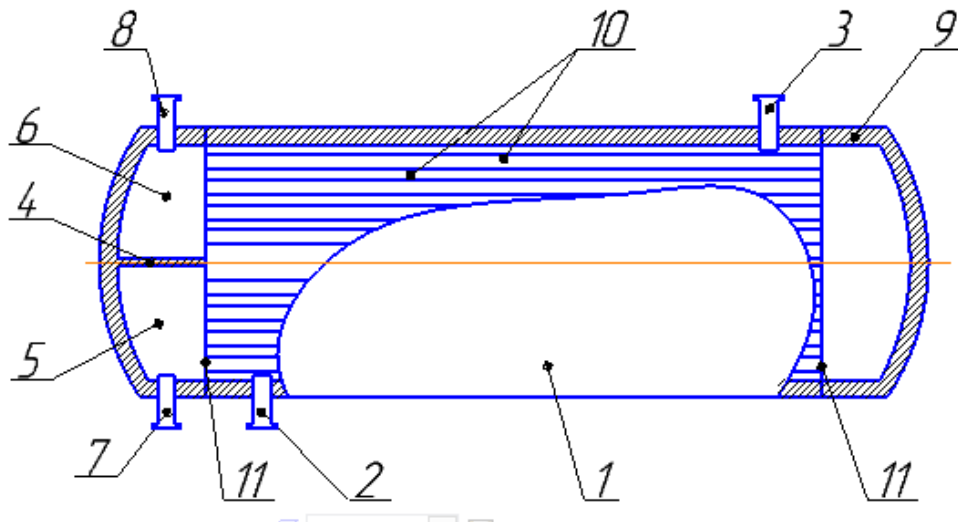
Реактор складається з циліндричного корпусу 3 до якого приварено два еліптичні днища. Апарат встановлений на опорах. Апарат складається з п'яти послідовних реакційних секцій та відстійної зони. Компоненти завантажують за допомогою штуцерів, причому сірчану кислоту та надлишковий ізобутан завантажують послідовно, а бутілен до кожної секції окремо. Пари ізобутану відводяться через штуцери, розташовані у верхній частині реактора кожної секції.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піппис	Лат		18

Для перемішування реагуючих речовин та каталізатора кожна реакційна секція апарата має привід 1 і мішалку 2. У відстійній зоні з нижньої частини реактора відбирається сірчана кислота а з правого днища продукти реакції.

### Теплообмінник

Теплообмінний апарат, призначений для охолодження ізобутану розсоллом. Схема теплообмінного апарату наведена на рисинку 3.2.



- 1 – циліндричний кожух; 2,3 – патрубок підведення та відведення продукту;  
 4 – кришка із перегородкою; 5,6 – камера подачі та відводу теплоносія;  
 7,8 – штуцери підводу та відведення; 9 – днище;  
 10 – теплообмінні труби; 11 – трубні решітки.

Рисунок 3.2 – Кожухотрубний теплообмінник

Теплообмінний апарат складається з: циліндричного кожуха, до якого з двох сторін приварені трубні решітки; в трубних решітках щільно закріплено труби; до кожуха за допомогою фланців при єднанні кришки; для ущільнення фланцевих з'єднань використовують прокладки; для вводу та виводу теплоносіїв до кожуху та розподільчої кришки приварені патрубки. Щільність з'єднання труб з трубною решіткою забезпечується розвальцьовкою.

### 3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

#### Реактор

У дисертації розробляється конструкція горизонтального реактора алкилювання.

Реакторами називають апарати в яких відбувається реакція в присутності каталізатора. Даний апарат використовують для реакції алкилювання в присутності сірчаної кислоти.

Аналогами до даному апарату є реактор з рухомим каталізатором та трубчастий каталітичний реактор. Відмінність аналогів в тому, що у них відсутні мішалки.

Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами, які описані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння основних показників конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Горизонтальний реактор алкілювання	Реактор з рухомим каталізатором	Трубчастий каталітичний реактор
Продуктивність, кг/с (бали)	4,17 (3)	4,17(3)	4,17(3)
Тривалість реакції, хв. (бали)	45(3)	60(1)	50(2)
Об'єм, м <sup>3</sup> (бали)	178(3)	160(1)	170(2)
Конструктивні розміри, м	D=3,4(3) H=21(2)	D=4(1) H=18(3)	D=4,5(2) H=24(1)
(Сума балів)	(14)	(9)	(10)

Висновок: Враховуючи, що запропонований тип реактора набрав найбільшу кількість балів, то його доцільно використовувати.

## Теплообмінник

У дисертації розробляється конструкція двоходового кожухотрубного теплообмінника для охолодження ізобутану.

Аналогами до даному апарату є одноходовий та спіральний теплообмінники, які відрізняються за конструкцією один від одного, мають різні розміри та площу перерізу каналів по яких рухаються теплоносії.

Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами, які описані, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння основних показників конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Одноходовий теплообмінник	Двоходовий теплообмінник	Спіральний теплообмінник
Продуктивність, кг/с (бали)	10,83 (3)	10,83 (3)	10,83 (3)
Площа поверхні теплопередачі, $m^2$ (бали)	121(2)	208(3)	100(1)
Коефіцієнт теплопередачі, $Вт/м^2 \times K$	304(1)	325(2)	720(3)
Гідрравлічний опір, МПа (бали)	60117 (2)	55792 (3)	1321534 (1)
Конструктивні розміри, м	D=0,6(3) L=6(2)	D=0,8(2) L=6(2)	H=2,2(1) L=2(3)
(Сума балів)	(13)	(15)	(12)

Висновок: Враховуючи, що запропонований тип теплообмінника набрав найбільшу кількість балів, то його доцільно використовувати.

### 3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

У хімічній промисловості умови роботи апаратів досить різноманітні. Вони працюють при широкому діапазоні температур, тисків і в різних середовищах, як агресивних, так і нейтральних. Тому вимоги до матеріалів із яких буде виготовлятися апарат також будуть різними.

При виборі матеріалів для апаратури необхідно керуватися галузевим стандартом ОСТ 26-291-71 «Сосуды и аппараты стальные. Технические требования».

Робота апаратів проходить при контакті з кислотним середовищем, тому для виготовлення їх деталей вибираються наступні матеріали:

1) для деталей реактора, що безпосередньо контактують з середовищем, обираємо леговану нержавіючу сталь марки Х18Н10Т (ГОСТ 5632–88) границя міцності такої сталі при розтягуванні не менше 520 МПа. Сталь корозійностійка використовується при виготовленні обичайок, корпусів, днищ, фланців, патрубків та інших деталей, що працюють в інтервалі температур від мінус 196 до 600 °С та за необмеженого тиску. Для виготовлення опор застосовується сталь вуглецева, марки Ст. 3 (ГОСТ 380-71) [2].

2) для деталей теплообмінника, що безпосередньо контактують з середовищем, також обираємо леговану нержавіючу сталь марки Х18Н10Т (ГОСТ 5632–88). Для виготовлення опор застосовується сталь вуглецева, марки Ст. 3 (ГОСТ 380-71).

Болти виготовляються із якісної вуглецевої сталі марки 35 (ГОСТ 7798-70), які використовуються для деталей машин з підвищеними вимогами; границя міцності такої сталі при розтягуванні не менше 540 МПа .

Шайби виготовляються із сталі Ст3 (ГОСТ 11371-78); границя міцності такої сталі при розтягуванні не менше 380–470 МПа.

Оскільки апарати працюють при невисокому тиску і температурі прокладки виготовляються із картону марки А ГОСТ 9347-74; прокладка такого типу

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піліпис	Лат		

використовується при температурі  $73 \div 673$  К та умовному тиску, який не перевищує 4 МПа.

### 3.4. Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки

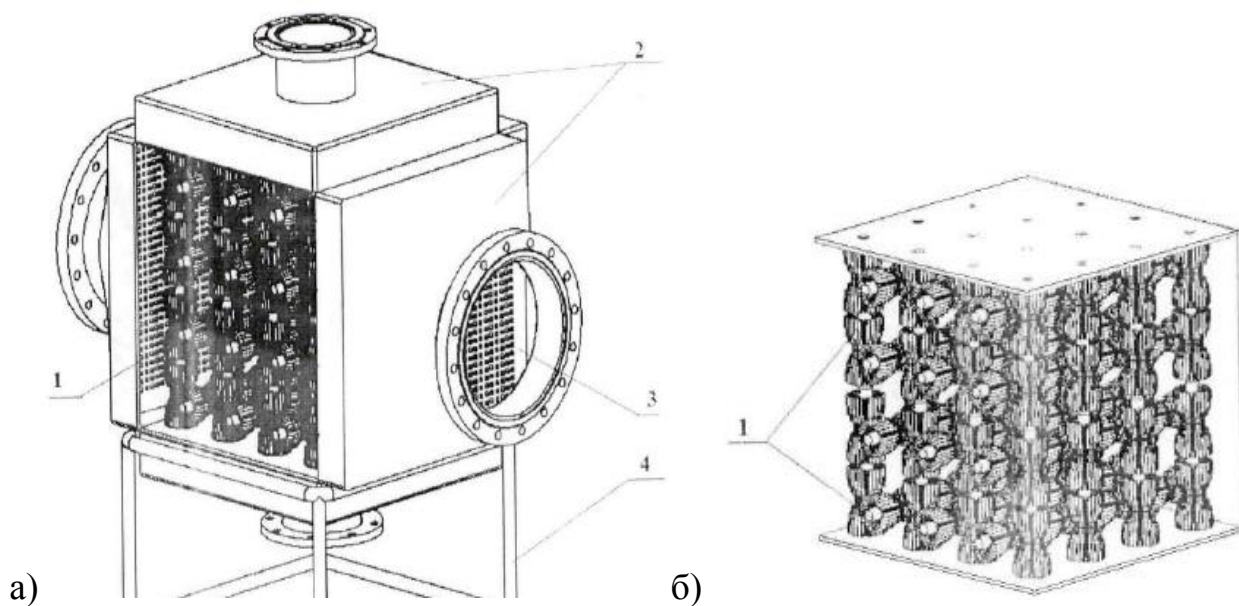
Предметом патентного пошуку є: реактор і теплообмінник. Було відібрано ряд конструкцій для детального розгляду, опис яких наведено нижче.

Метою даного завдання є: визначити актуальність розроблюваного апарата.

#### Теплообмінник

Перехресний кожухотрубний теплообмінник [3].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.3.



1 – взаємно перпендикулярні трубні секції зі спеціальним оробренням;  
2 – корпус; 3 – розподільчі решітки; 4 – рама

Рисунок 3.3 – Схема перехресного кожухотрубного теплообмінника:

а) загальний вигляд; б) взаємно перпендикулярні трубні секції зі спеціальним оробренням

Перехресний кожухотрубний теплообмінник включає в себе взаємно перпендикулярні трубні секції зі спеціальним оробренням у трубний простір яких

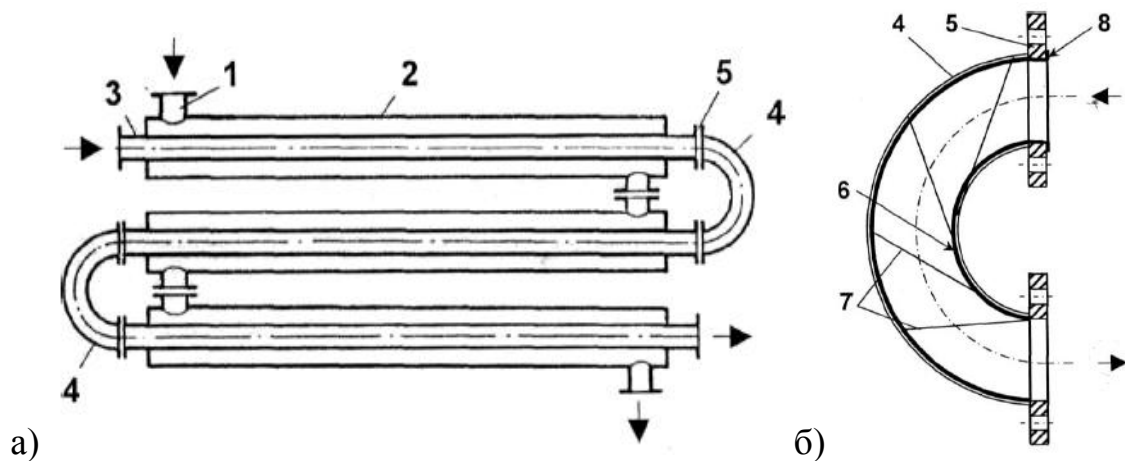
подається рідина-теплоносіє, а у міжтрубний – повітря. Щоб уникнути зон застою, в теплообміннику розташовані розподільчі решітки, що дозволяє рівномірно розподілити потік повітря.

Переваги: підвищений коефіцієнт теплопередачі і ефективність апарату в цілому за рахунок турбулізації повітряного потоку, що досягається складною формою каналу, утвореною перехрещенням трубних секцій зі спеціальним оребренням.

Недоліки: складність конструкції, підвищена металоємність.

Теплообмінник "труба в трубі" [4].

Схема даного апарату зображена на рисунку 3.4.



1 – патрубки; 2 – зовнішні труби; 3 – внутрішні труби; 4 – калачі;  
5 – фланець; 6 – полімерна вставка; 7 – спіральні ребра; 8 - розборткування

Рисунок 3.4 – Схема теплообмінника "труба в трубі":

а) загальний вигляд; б) калач

Теплообмінник включає в себе зовнішні труби, по яких теплоносіє перетікає з одної в іншу за рахунок патрубків, та внутрішні труби, по яких теплоносіє рухається з одної в іншу за рахунок калачів, що містять спіральні ребра. Це надає прямолінійному потоці ще й обертового руху, що дає можливість інтенсифікувати процес тепловіддачі у внутрішніх трубах.

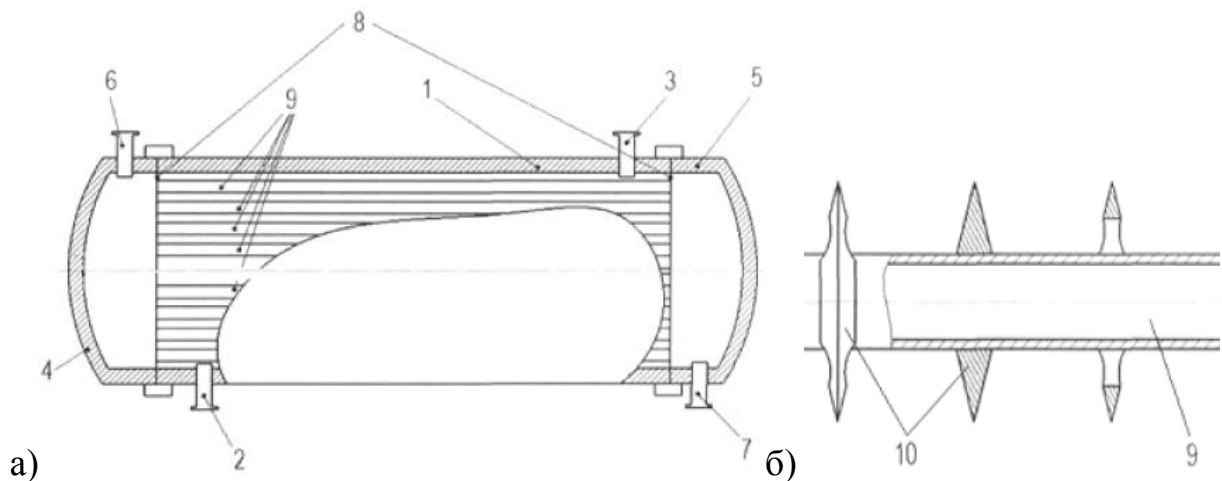
Переваги: збільшений процес тепловіддачі у внутрішніх трубах завдяки калачам зі спіральними ребрами.

Недоліки: великий гідравлічний опір.



Кожухотрубний теплообмінник [5].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.5. У трубний простір подається рідина, яку потрібно охолодити або нагріти, а у міжтрубний простір подається теплоносіє, що омиває труби. На теплообмінних трубах розташовані диски, що підвищують процес тепловіддачі. Таким чином рідина, що проходить крізь трубний пучок, досягає потрібної температури та відводиться через штуцер.



1 – циліндричний кожух; 2,3 – штуцери входу та виходу теплоносія;  
4,5 – кришка; 6,7 – штуцери входу та виходу рідини; 8 – трубні решітки;  
9 – теплообмінні труби; 10 – диски

Рисунок 3.5 – Схема кожухотрубного теплообмінника:

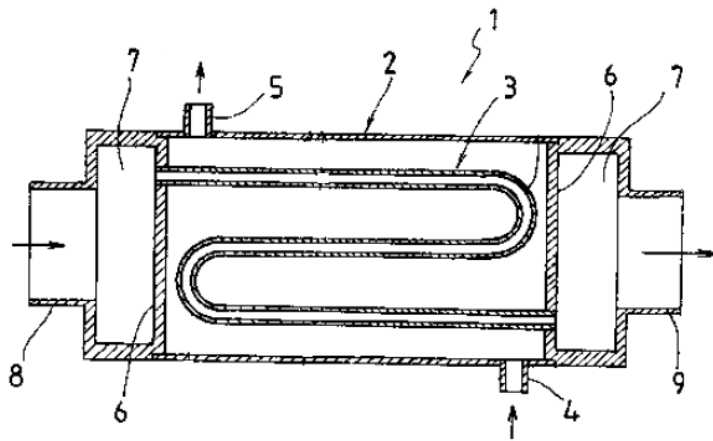
а) загальний вигляд; б) переріз теплообмінної труби

Переваги: збільшений процес тепловіддачі завдяки дискам на зовнішній поверхні теплообмінних труб.

Недоліки: складність очистки труб.

Кожухотрубний теплообмінник [6].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.6. Кожухотрубний теплообмінник включає в себе корпус, через який проходить теплоносіє, і труби, які розташовані в корпусі і через які проходить рідина, яку потрібно нагріти (охолодити). На верхній і нижній сторонах корпусу, передбачені штуцери для теплоносія. З обох боків корпусу знаходяться порожнисті колектори, один з яких має штуцер для входу рідини, а інший для виходу.



1 – кожухотрубний теплообмінник; 2 – корпус; 3 – труби;  
4,5 – штуцери входу та виходу теплоносія; 6 – трубні решітки; 7 – порожнистий  
колектор; 8,9 – штуцери входу та виходу рідини

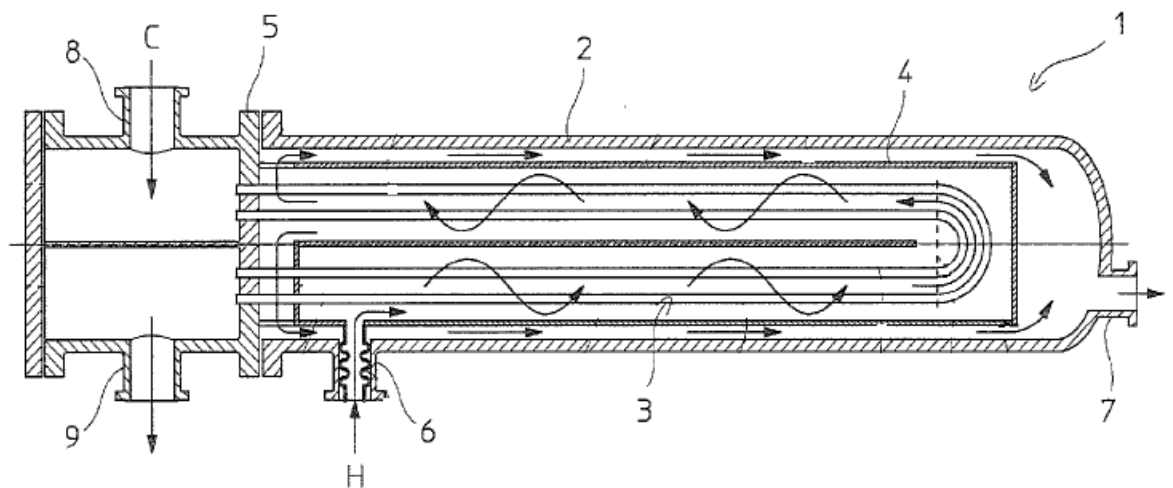
Рисунок 3.6 – Схема кожухотрубного теплообмінника

Переваги: простота конструкції.

Недоліки: складність очистки труб, великий гідравлічний опір.

Кожухотрубний теплообмінник [7].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.7.



1 – кожухотрубний теплообмінник; 2 – корпус;  
3 – труби; 4 – внутрішній циліндр; 5 – днище; 6,7 – штуцери входу та виходу  
теплоносія; 8,9 – штуцери входу та виходу рідини

Рисунок 3.7 – Схема кожухотрубного теплообмінника

Кожухотрубний теплообмінник містить корпус і пучок труб. Всередині корпусу розташований внутрішній циліндр, який має всередині перегородки розташовані таким чином, що теплоносії довше контактує з трубами. Середовища, які рухаються у трубному та між трубному просторі є протитечіями завдяки такому розташуванню перегородок, що дає змогу інтенсифікувати процес теплообміну.

Переваги: високий коефіцієнт теплопередачі.

Недоліки: складність конструкції, підвищена металоємність.

Висновок.

Патентний пошук показав, що сучасні розробки спрямовані на інтенсифікацію теплообмінних процесів шляхом підвищення поверхні теплообміну або турбулізацією потоків. В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим.

Модернізація полягає в тому, щоб забезпечити турбулізацію потоку в міжтрубному просторі із одночасним збільшенням поверхні теплообміну, що забезпечує інтенсифікацію теплообміну, а отже і ефективність при експлуатації теплообмінного апарату.

## Реактор

Реактор [8].

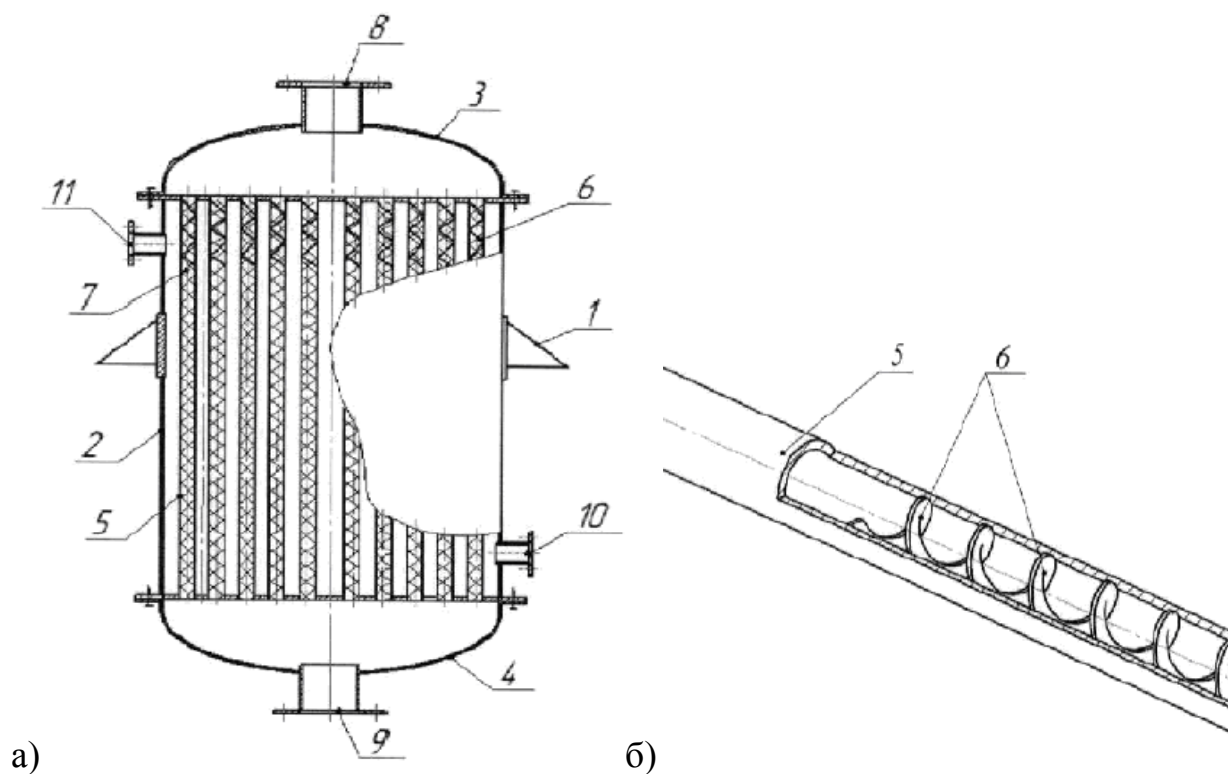
Схема даного апарата зображена на рисунку 3.8.

В трубний простір реактора подається газова суміш, а у між трубний надходить теплоносії. На вході в реакційні труби встановлені спіральні елементи, що забезпечує рух суміші по спіралі. Це дає змогу збільшити час перебування суміші в апараті, а отже і ефективність в цілому.

Переваги: збільшений час перебування суміші в апараті.

Недоліки: складність конструкції, підвищена металоємність.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піліпис	Лат		



1 – опори; 2 – корпус; 3 – кришка; 4 – днище;  
 5 – реакційні труби;  
 6 – спіральні елементи; 8-11 – штуцери

Рисунок 3.8 – Схема реактора

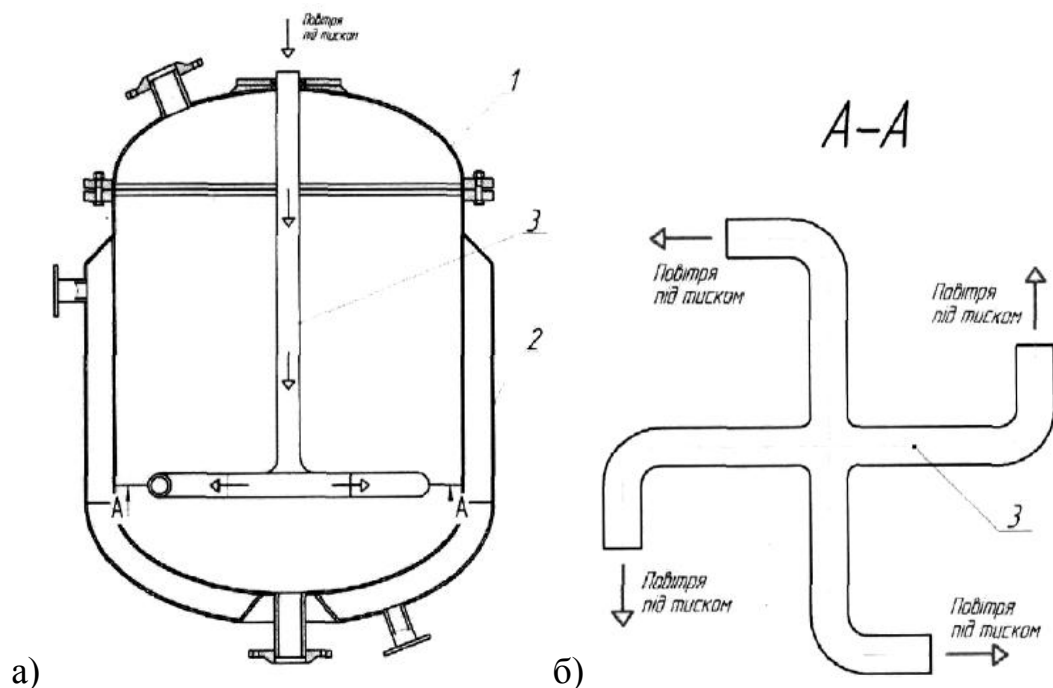
Реактор з пневматичним перемішуючим пристроєм [9].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.9.

Повітря під тиском подається у пустотілий вал перемішуючого пристрою, що приводить його у рух, виходячи через сопла. Це дає можливість уникнути використання електродвигуна та барботера. Таким чином здійснюється процес аерації і перемішування середовища в реакторі одночасно. За рахунок цього конструкція апарату значно спрощується, знижується її собівартість та підвищується ефективність використання енергії.

Переваги: простота конструкції, зменшено енергозатрати.

Недоліки: мішалка приводиться в дію за допомогою повітря.



1 – корпус; 2 – теплова рубашка;

3 – пневматичний перемішуючий пристрій

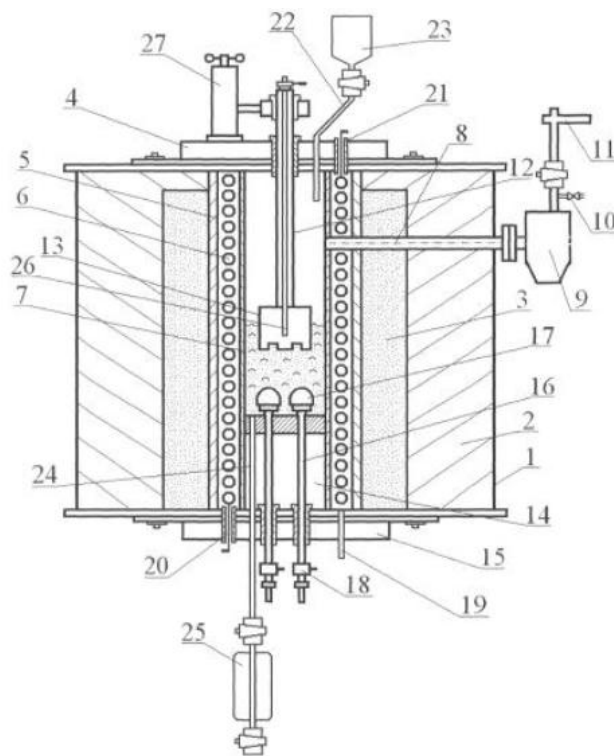
Рисунок 3.9 – Схема апарата: а) загальний вид; б) схема руху повітря

Реактор для високотемпературних процесів у псевдозрідженому шарі [10].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.10. Щоб захистити гріючий елемент від окиснення, використовують інертний газ, що подається у гріючу камеру. В залежності від процесу в реактор подається інертний або реакційний газ через газопровідні трубки та газорозподільчі ковпачки для того, щоб створити псевдозріджений шар. Матеріал для обробки транспортується через трубу з бункера. Реакційна камера нагрівається за рахунок електроопору, який створюється через подання струму на клему гріючого елементу. Матеріал вивантажується через трубу в холодильник. За допомогою термопари здійснюється вимірювання температури. Проба на аналіз реакційного або інертного газу береться через кран. Водю охолоджується: верхня та нижня кришки, холодильник та у разі необхідності очисник. Висота електрода регулюється спеціальним механізмом.

Переваги: можливість проведення високотемпературних процесів, менші енергозатрати.

Недоліки: складність конструкції.



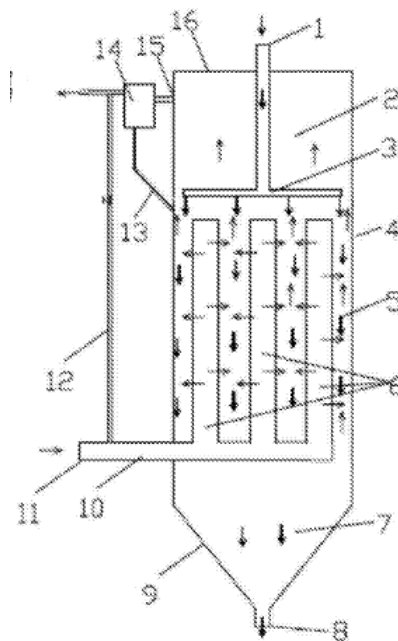
1 – корпус; 2 – зовнішня теплоізоляція; 3 – внутрішня теплоізоляція;  
 4 – водоохолоджувальна кришка; 5 – гріюча камера; 6 – гріючий елемент;  
 7 – реакційна камера; 8 – патрубок для виходу газу; 9 – очисник; 10 – кран для  
 відбору проб газу на аналіз; 11 – патрубок для виходу газу у зовнішнє середовище;  
 12 – рухомий електрод (анод); 13 – графітова корона; 14 – повітряна камера з  
 отворами; 15 – водо охолоджувальна кришка; 16 – газопровідні трубки;  
 17 – газорозподільчі ковпачки (катоди); 18 – клеми для відводу струму від катодів;  
 19 – штуцер для подачі інертного газу; 20,21 – клеми для подачі струму; 22 – труба  
 для завантаження матеріалу; 23 – бункер; 24 – труба для вивантаження матеріалу;  
 25 – холодильник; 26 – термопара; 27 – механізм черв'ячного типу для  
 регулювання висоти рухомих електродів

Рисунок 3.10 – Схема апарата

Реактор алкилювання з рухомим шаром [11].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.11. Реактор з рухомим шаром містить оболонку реактора, розподільник рідкого середовища, розподільник твердих частинок і систему подачі, причому внутрішній простір корпусу реактора розділено на зону збору часток, зону реакції і площу осадження частинок від

нижньої до верхньої головки. Розподільник рідини розташований в зоні реакції, стінки труб розподільника текучого середовища перфоровані для подачі текучого середовища. Розподільник твердих частинок розташований у верхній частині реакційної зони. В нижній частині області збору часток вихід каталізатора. Реактор з рухомим шаром підходить для реакції кислотного алкилювання. Сировина для алкилювання піддається реакції з поперечним струмом рідини і протитечією з каталізатором в зоні реакції, збільшується відношення ізомерного алкана до олефінів в процесі реакції і поліпшується селективність цільових продуктів.



1 – вхід для каталізатора; 2 – зона осадження частинок; 3 – розподіл твердих частинок; 4 – корпус; 5 – зона реакції; 6 – розподільник рідини; 7 – ділянка збору часток; 8 – вихід для каталізатора; 9 – нижня головка; 10 – порт подачі рідини; 11 – трубка подачі; 12 – труба; 13 – тверда трубка подачі для сепаратора рідкої твердої фази; 14 – рідинно-твердий сепаратор; 15 – вихід рідкого продукту; 16 – верхня головка

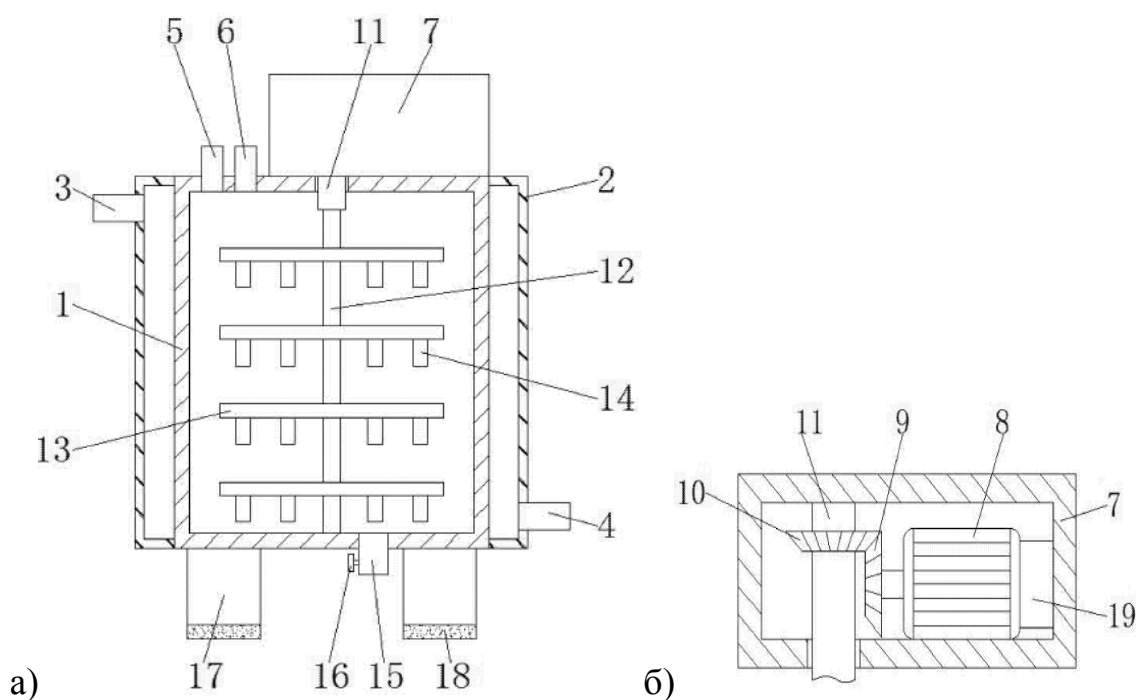
Рисунок 3.11 – Схема реактора алкилювання з рухомим шаром

Переваги: поліпшується селективність цільових продуктів.

Недоліки: складність конструкції та очистки.

Реактор алкилювання [12].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.12. Блок містить реакційну посудину, поверхнєве покриття реакційного котла забезпечено охолоджуючим циліндром, ліва верхня частина сполучної частини охолоджуючого циліндра має вихідну трубу, нижнє з'єднання на правій стороні охолоджуючого циліндра має вхідну трубку. Ліва сторона на верхівці чайника зверху має трубу подачі реагенту і трубку подачі каталізатора. Це ефективний реактор реакції алкилювання може інтенсивно перемішувати реагент і каталізатор, підвищувати продуктивність продукту, поліпшується практичність продукту реакції алкилювання.



1 – реактор; 2 – конденсаційний резервуар; 3 – випускна труба; 4 – впускна труба; 5 – труба подачі реагенту; 6 – труба подачі каталізатора; 7 – корпус двигуна; 8 – двигун; 9,10 – конічні шестерні; 11 – обертовий стержень; 12 – поворотний стержень; 13 – леза для перемішування; 14 – стержні для перемішування; 15 – труба для виходу продукту; 16 – регулюючий клапан; 17 – опори; 18 – підкладки; 19 – ударна пластина

Рисунок 3.12 – Схема реактора алкилювання: а) загальний вид;

б) вид спереду поперечного перерізу корпусу двигуна

Переваги: поліпшується продуктивність алкилювання.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		32



Недоліки: складність конструкції, значні енергозатрати.

Висновок.

Патентний пошук показав, що сучасні розробки спрямовані на інтенсифікацію масообмінних процесів шляхом підвищення продуктивності за рахунок інтенсивного перемішування. В запропонованій конструкції апарата не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ док.	Піппс	Лат		

#### 4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

##### 4.1 Розрахунок теплообмінника

##### 4.1.1 Параметричний розрахунок двоходового теплообмінника

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну та конструктивних розмірів апарату.

Розрахунок ведеться за методикою наведеною в [13].

Розрахункова схема теплообмінника зображена на рисунку 4.1.

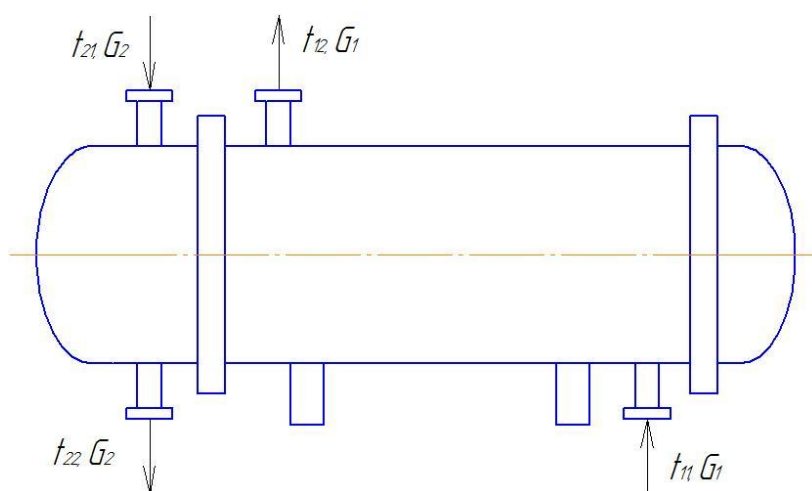


Рисунок 4.1 – Схема теплообмінника

Вихідні дані:

температура розсолу на виході К, $t_{12}$	273;
температура розсолу на вході К, $t_{11}$	267;
температура ізобутану на виході К, $t_{22}$	275;
температура ізобутану на вході К, $t_{21}$	313;
масова витрата ізобутану кг/с, $G_2$	10,83;

В якості розсолу виступає водний розчин хлористого кальцію (20,9%).

Температурна схема:

$$t_{21} = 313 \text{ К} \rightarrow t_{22} = 275 \text{ К};$$

$$t_{11} = 267 \text{ К} \rightarrow t_{12} = 273 \text{ К}.$$

Більша різниця температур між холодним та гарячим теплоносіями:

$$\Delta t_6 = t_{21} - t_{12} = 313 - 273 = 40 \text{ К.}$$

Менша різниця температур між холодним та гарячим теплоносіями:

$$\Delta t_m = t_{22} - t_{11} = 275 - 267 = 8 \text{ К.}$$

Оскільки  $\Delta t_6 / \Delta t_m = 40/8 = 5 > 2$ , то середній температурний напір для протитоку визначається по формулі:

$$\Delta t_{\text{ср.пр}} = (\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}) = (40 - 8) / \ln(\frac{40}{8}) = 19,89 \text{ К.}$$

Середній температурний напір при змішаному тоці:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{A}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m + A}{\Delta t_6 + \Delta t_m - A}} = \frac{38,47}{2,3 \cdot \lg \frac{40 + 8 + 38,47}{40 + 8 - 38,47}} = 17,5 \text{ К,}$$

$$\text{де } A = \sqrt{\Delta t_2^2 + \Delta t_1^2} = \sqrt{(313 - 275)^2 + (273 - 267)^2} = 38,47. [17]$$

Середня температура розсолу:

$$t_1 = (t_{11} + t_{12}) / 2 = (267 + 273) / 2 = 270 \text{ К.}$$

Середня температура ізобутану:

$$t_2 = t_1 + \Delta t_{\text{ср}} = 270 + 17,5 = 287,5 \text{ К.}$$

Витрата теплоти з врахуванням втрат у розмірі 5%:

$$Q = 1,05 \cdot G_2 \cdot c_2 (t_{21} - t_{22}) = 1,05 \cdot 10,83 \cdot 2338 \cdot (313 - 275) = 1010290 \text{ Вт,}$$

де  $G_2$  - масова витрата ізобутану, кг/с, [17]

$c_2$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_2$ ,  $c_2 = 2338 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К.}$  [13]

Масові витрати розсолу:

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 \cdot (t_{12} - t_{11})} = \frac{1010290}{3037 \cdot (273 - 267)} = 55,44 \text{ кг/с,}$$

де  $c_1$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_1$ ,  $c_1 = 3037 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К.}$  [13]

Об'ємні витрати ізобутану:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{10,87}{575} = 0,0189 \text{ м}^3/\text{с.}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

Об'ємні витрати розсолу:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{55,44}{1190} = 0,0466 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Визначаємо орієнтовно значення площі поверхні теплообміну, приймаючи коефіцієнт теплопередачі  $K_{\text{оп}}=325 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{1010290}{325 \cdot 17,5} = 177,63 \text{ м}^2.$$

Приймаємо число Рейнольдса  $Re_2=16000$ .

Кількість труб:

$$n = \frac{G_2 \cdot z}{0,785 \cdot (d_{\text{вн}} \cdot \mu_2 \cdot Re_2)} = \frac{10,83 \cdot 2}{0,785 (0,021 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3} \cdot 16000)} = 437,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{вн}}=0,021 \text{ м}$ ,

$z$  – число ходів,

$\mu_2$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі сірчаної кислоти  $t_2$ ,

$\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . [13]

За ГОСТ 15120-79 обираємо кожухотрубний двоходовий теплообмінник діаметром 800 мм і з трубами 25х2 мм, кількість труб  $n = 442$ , довжина труб  $L = 6 \text{ м}$ , прохідний переріз трубного простору  $S_T = 7,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ , прохідний переріз міжтрубного простору  $S_{MT} = 7,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$  [13].

Швидкість потоку розсолу:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_{MT}} = \frac{0,0466}{7,0 \cdot 10^{-2}} = 0,665 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для розсолу:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{зв}} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,665 \cdot 0,025 \cdot 1190}{3,615 \cdot 10^{-3}} = 5473,$$

де  $d_{\text{зв}}$  – зовнішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{зв}}=0,025 \text{ м}$ ,

$\mu_1$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі розсолу  $t_1$ ,

$\mu_1 = 3,615 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  [13].

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		

Швидкість потоку ізобутану:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_T} = \frac{0,0189}{7,7 \cdot 10^{-2}} = 0,246 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольдса для ізобутану:

$$\text{Re}_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,246 \cdot 0,021 \cdot 575}{0,188 \cdot 10^{-3}} = 15800,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{вн}} = 0,021$  м

$\mu_2$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі ізобутану  $t_2$ ,

$$\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13].$$

Для теплового розрахунку приймаємо: температуру стінки зі сторони розсолу  $t_{\text{ст1}} = 278 \text{ К}$ , температуру стінки зі сторони ізобутану  $t_{\text{ст2}} = 281 \text{ К}$ .

Критерій Прандтля для розсолу біля стінки:

$$\text{Pr}_{\text{ст1}} = \frac{c_{\text{ст1}} \cdot \mu_{\text{ст1}}}{\lambda_{\text{ст1}}} = \frac{3050 \cdot 2,864 \cdot 10^{-3}}{54,85 \cdot 10^{-2}} = 15,93,$$

де  $c_{\text{ст1}}$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_{\text{ст1}}$ ,  $c_{\text{ст1}} = 3050 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  [13]

$\mu_{\text{ст1}}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\mu_{\text{ст1}} = 2,864 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13]$$

$\lambda_{\text{ст1}}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\lambda_{\text{ст1}} = 54,85 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Критерій Прандтля для ізобутану біля стінки:

$$\text{Pr}_{\text{ст2}} = \frac{c_{\text{ст2}} \cdot \mu_{\text{ст2}}}{\lambda_{\text{ст2}}} = \frac{2314 \cdot 0,196 \cdot 10^{-3}}{12,49 \cdot 10^{-2}} = 3,63,$$

де  $c_{\text{ст2}}$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_{\text{ст2}}$ ,  $c_{\text{ст2}} = 2314 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ ; [13]

$\mu_{\text{ст2}}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст2}}$ ,

$$\mu_{\text{ст2}} = 0,196 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; [13]$$

$\lambda_{\text{ст2}}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст2}}$ ,

$$\lambda_{\text{ст2}} = 12,49 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ док.	Піппис	Лат		

Критерій Нусельта для розсолу при  $Re > 1000$ :

$$\begin{aligned} Nu_1 &= 0,4 \cdot Re_1^{0,6} \cdot Pr_1^{0,36} \cdot (Pr_1/Pr_{ст})^{0,25} \cdot \xi_\varphi = \\ &= 0,4 \cdot 5473^{0,6} \cdot 20,5^{0,36} \cdot (20,5/15,93)^{0,25} \cdot 0,6 = 132,67. \end{aligned}$$

де  $\xi_\varphi$  – коефіцієнт, який враховує кут атаки,  $\xi_\varphi = 0,6$ ,  $Pr_1 = 20,5$  – критерій Прандтля для розсолу при температурі  $t_1$ . [13]

Коефіцієнт тепловіддачі для розсолу:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{36}} = \frac{132,67 \cdot 53,7 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 2852 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

де  $\lambda_1$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу  $t_1$ ,

$$\lambda_1 = 53,7 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Так як  $Re_2 > 10000$ , то формула для знаходження критерія Нусельта для ізобутану виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,021 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot (Pr_2/Pr_{ст2})^{0,25} \cdot \varepsilon_l = \\ &= 0,021 \cdot 15800^{0,8} \cdot 3,55^{0,43} \cdot (3,55/3,63)^{0,25} \cdot 1 = 82,29. \end{aligned}$$

де  $Pr_2$  - критерій Прандтля при температурі ізобутану  $t_2$ ,  $Pr_2 = 3,55$ . [13].

Коефіцієнт тепловіддачі для ізобутану:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{вн}} = \frac{82,29 \cdot 12,4 \cdot 10^{-2}}{0,021} = 486 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К},$$

де  $\lambda_2$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану  $t_2$ ,

$$\lambda_2 = 12,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Термічний опір стінки та забруднень:

$$\sum r_{ст} = r_1 + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_2 = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2900} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де  $\frac{1}{r_1}$  - теплопровідність забруднень зі сторони розсолу,  $\frac{1}{r_1} = 5800 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$\frac{1}{r_2}$  - теплопровідність забруднень зі сторони ізобутану,  $\frac{1}{r_2} = 2900 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2852} + 6,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{486}} = 329,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Поверхнева щільність теплового потоку:

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{cp}} = 329,14 \cdot 17,5 = 5760 \text{ Вт/м}^2.$$

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{1010290}{5760} = 175,4 \text{ м}^2.$$

Кількість труб:

$$n = \frac{G_2 \cdot z}{0,785 \cdot (d_{\text{вн}} \cdot \mu_2 \cdot \text{Re}_2)} = \frac{10,83 \cdot 2}{0,785 (0,021 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3} \cdot 15800)} = 442,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{вн}} = 0,021 \text{ м}$ ,

$z$  – число ходів,  $z = 2$ ,

$\mu_2$  – динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі сірчаної кислоти  $t_2$ ,

$$\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с. [13]}$$

Довжина труб:

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{cp}} \cdot n} = \frac{175,4}{3,14 \cdot 0,023 \cdot 442} = 5,49 \text{ м},$$

де  $d_{\text{cp}}$  – середній діаметр труб,  $d_{\text{cp}} = 0,023 \text{ м}$ .

За ГОСТ 15120-79 обираємо кожухотрубний двоходовий теплообмінник діаметром 800 мм і з трубами 25x2 мм, кількість труб  $n = 442$ , довжина труб  $L = 6 \text{ м}$  [13].

Перевірка значень  $t_{\text{ст1}}$  і  $t_{\text{ст2}}$ :

$$t_{\text{ст1}} = t_1 + \frac{q}{\alpha_1} = 270 + \frac{5760}{2852} = 272 \text{ К},$$

$$t_{\text{ст2}} = t_2 - \frac{q}{\alpha_2} = 287,5 - \frac{5760}{486} = 275,7 \text{ К}.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

Перевірочні значення температур відрізняються від прийнятих. Проведемо перерахунок з новими значеннями температури стінки зі сторони розсолу  $t_{\text{ст1}} = 272 \text{ К}$ , температуру стінки зі сторони ізобутану  $t_{\text{ст2}} = 275,7 \text{ К}$ .

Критерій Прандтля для розсолу біля стінки:

$$\text{Pr}_{\text{ст1}} = \frac{c_{\text{ст1}} \cdot \mu_{\text{ст1}}}{\lambda_{\text{ст1}}} = \frac{3043 \cdot 3,31 \cdot 10^{-3}}{54,4 \cdot 10^{-2}} = 18,51,$$

де  $c_{\text{ст1}}$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_{\text{ст1}}$ ,  $c_{\text{ст1}} = 3043 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  [13]

$\mu_{\text{ст1}}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\mu_{\text{ст1}} = 3,31 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13]$$

$\lambda_{\text{ст1}}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\lambda_{\text{ст1}} = 54,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Критерій Прандтля для ізобутану біля стінки:

$$\text{Pr}_{\text{ст2}} = \frac{c_{\text{ст2}} \cdot \mu_{\text{ст2}}}{\lambda_{\text{ст2}}} = \frac{2327 \cdot 0,207 \cdot 10^{-3}}{12,56 \cdot 10^{-2}} = 3,84,$$

де  $c_{\text{ст2}}$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_{\text{ст2}}$ ,  $c_{\text{ст2}} = 2327 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ ; [13]

$\mu_{\text{ст2}}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст2}}$ ,

$$\mu_{\text{ст2}} = 0,207 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; [13]$$

$\lambda_{\text{ст2}}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст2}}$ ,

$$\lambda_{\text{ст2}} = 12,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Критерій Нусельта для розсолу при  $\text{Re} > 1000$ :

$$\begin{aligned} \text{Nu}_1 &= 0,4 \cdot \text{Re}_1^{0,6} \cdot \text{Pr}_1^{0,36} \cdot (\text{Pr}_1 / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25} \cdot \xi_\varphi = \\ &= 0,4 \cdot 5473^{0,6} \cdot 20,5^{0,36} \cdot (20,5 / 18,51)^{0,25} \cdot 0,6 = 127,78. \end{aligned}$$

де  $\xi_\varphi$  – коефіцієнт, який враховує кут атаки,  $\xi_\varphi = 0,6$ ,  $\text{Pr}_1 = 20,5$  – критерій Прандтля для розсолу при температурі  $t_1$ . [13]

Коефіцієнт тепловіддачі для розсолу:

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{d_{36}} = \frac{127,78 \cdot 53,7 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 2745 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		



де  $\lambda_1$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу  $t_1$ ,

$$\lambda_1 = 53,7 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Так як  $Re_2 > 10000$ , то формула для знаходження критерія Нусельта для ізобутану виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,021 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot (Pr_2/Pr_{cr2})^{0,25} \cdot \varepsilon_l = \\ &= 0,021 \cdot 15800^{0,8} \cdot 3,55^{0,43} \cdot (3,55/3,84)^{0,25} \cdot 1 = 81,14. \end{aligned}$$

де  $Pr_2$  - критерій Прандтля при температурі ізобутану  $t_2$ ,  $Pr_2 = 3,55$ . [13].

Коефіцієнт тепловіддачі для ізобутану:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{вн}} = \frac{81,14 \cdot 12,4 \cdot 10^{-2}}{0,021} = 479,11 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К},$$

де  $\lambda_2$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану  $t_2$ ,

$$\lambda_2 = 12,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Термічний опір стінки та забруднень:

$$\sum r_{cr} = r_1 + \frac{\delta_{cr}}{\lambda_{cr}} + r_2 = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2900} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де  $\frac{1}{r_1}$  - теплопровідність забруднень зі сторони розсолу,  $\frac{1}{r_1} = 5800 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$\frac{1}{r_2}$  - теплопровідність забруднень зі сторони ізобутану,  $\frac{1}{r_2} = 2900 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cr} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2745} + 6,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{479,11}} = 324,52 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Поверхнева щільність теплового потоку:

$$q = K \cdot \Delta t_{cp} = 324,52 \cdot 17,5 = 5679 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевірка значень  $t_{cr1}$  і  $t_{cr2}$ :

$$t_{cr1} = t_1 + \frac{q}{\alpha_1} = 270 + \frac{5679}{2745} = 272 \text{ К},$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

$$t_{cr2} = t_2 - \frac{q}{\alpha_2} = 287,5 - \frac{5679}{479,11} = 275,6 \text{ K.}$$

Введення поправок в розрахунки не потребується.

Розрахункова площа поверхні теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{q} = \frac{1010290}{5679} = 177,9 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплопередачі із запасов в 10%:

$$F_p = 1,1 \cdot F_p = 1,1 \cdot 177,9 = 195,69 \text{ м}^2.$$

Кількість труб:

$$n = \frac{G_2 \cdot z}{0,785 \cdot (d_{\text{вн}} \cdot \mu_2 \cdot \text{Re}_2)} = \frac{10,83 \cdot 2}{0,785 (0,021 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3} \cdot 15800)} = 442,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{вн}} = 0,021$  м,  $z$  – число ходів,  $z = 2$ ,  
 $\mu_2$  – динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі сірчаної кислоти  $t_2$ ,  
 $\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3}$  Па·с. [13]

Довжина труб:

$$l = \frac{F_p}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n} = \frac{195,69}{3,14 \cdot 0,023 \cdot 442} = 6,13 \text{ м,}$$

де  $d_{cp}$  – середній діаметр труб,  $d_{cp} = 0,023$  м.

За ГОСТ 15120-79 обираємо кожухотрубний двоходовий теплообмінник діаметром 800 мм і з трубами 25x2 мм, кількість труб  $n = 442$ , довжина труб  $L = 6$  м, площа поверхні теплопередачі одного апарата  $F = 208 \text{ м}^2$  [13].

Число апаратів:

$$N = \frac{F_p}{F} = \frac{195,69}{208} = 0,941.$$

Приймаємо  $N = 1$ .

Знаходимо запас площі поверхні теплообміну:

$$\Delta = \frac{F \cdot N - F_p}{F_p} \cdot 100\% = \frac{208 - 177,9}{177,9} \cdot 100\% = 16,92\%.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

Висновок: в результаті розрахунків була визначена необхідна площа теплообміну  $F_p = 177,9 \text{ м}^2$ , за якою остаточно приймаємо нормалізований теплообмінник з діаметром апарату 800 мм,  $n=442$ , зовнішній діаметр труб 25мм, довжина труб 6 м.

#### 4.1.2 Гідравлічний розрахунок двоходового теплообмінника

Метою розрахунку є: визначення сумарних гідравлічних втрат напору в трубному та міжтрубному просторах.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.2.

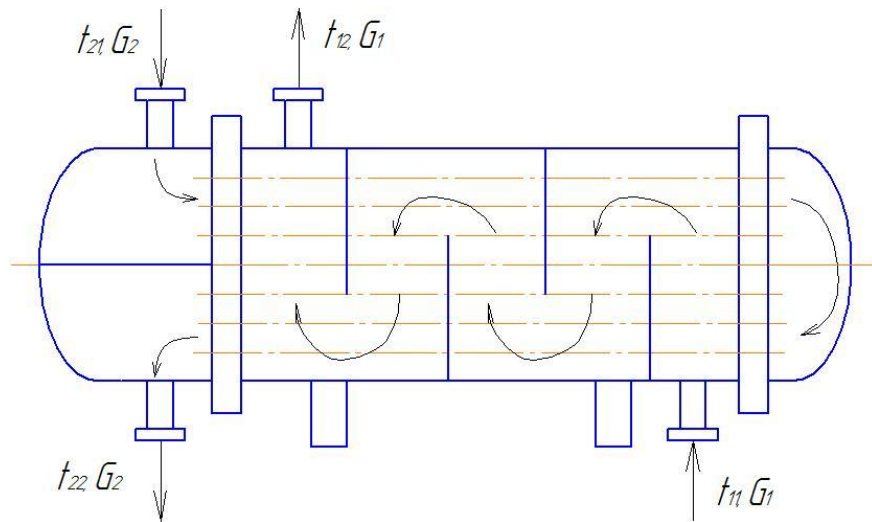


Рисунок 4.2 – Схема гідравлічного розрахунку.

Вихідні дані:

швидкість ізобутану, м/с, $\omega_2$	0,246;
критерій Рейнольдса для ізобутану, $Re_2$	15800;
швидкість розсолу, м/с, $\omega_1$	0,665;
критерій Рейнольдса для розсолу, $Re_1$	5473;
розміри трубок, мм, $d \times S_T$	25 x 2;
тиск у трубному просторі, МПа, $p_T$	0,2;
тиск у міжтрубному просторі, МПа, $p_M$	0,15;

масова продуктивність ізобутану, кг/с,  $G_2$

10,83;

Скористаємося методикою розрахунку запропонованою [14].

Сума коефіцієнтів місцевого опору на всмоктуючій лінії:

$$\sum \xi = 2 \cdot \xi_{\text{вх}} + 4 \cdot \xi_{\text{тр}} + \xi_{180^\circ} = 2 \cdot 1,5 + 4 \cdot 1 + 2,5 = 9,5,$$

де  $\xi_{\text{вх}}$  – коефіцієнт опору на вході та виході в теплообмінник,  $\xi_{\text{вх}} = 1,5$ ; [14]

$\xi_{\text{тр}}$  - коефіцієнт опору на вході в труби та виході з них,  $\xi_{\text{тр}} = 1$ ; [14]

$\xi_{180^\circ}$  - коефіцієнт опору при повороті на  $180^\circ$  із однієї секції в іншу,  $\xi_{180^\circ} = 2,5$ . [14]

Коефіцієнт тертя для турбулентного режиму руху середовища:

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}_2^{0,25}} = \frac{0,316}{15800^{0,25}} = 0,028.$$

Сумарні гідравлічні втрати напору для трубного простору визначимо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_{\text{дод}} = \frac{\omega_2^2 \cdot \rho_2}{2} \cdot \left( 1 + \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{екв}}} + \sum \xi \right) + (p_{\text{т}} - p_{\text{м}}) = \\ &= \frac{0,246^2 \cdot 575}{2} \cdot \left( 1 + 0,028 \cdot \frac{6}{0,021} + 9,5 \right) + (0,2 - 0,15) \cdot 10^6 = 50322 \text{ Па} \end{aligned}$$

Визначимо сумарні гідравлічні втрати для міжтрубного простору:

Сумарний коефіцієнт гідравлічних опорів для між трубного простору:

$$\sum \xi = 2 \cdot \xi_{\text{вх}} + 12 \cdot \xi_{180^\circ} = 2 \cdot 1,5 + 12 \cdot 1,5 = 21,$$

де  $\xi_{\text{вх}}$  – коефіцієнт опору на вході та виході в теплообмінник,  $\xi_{\text{вх}} = 1,5$ ;

$\xi_{180^\circ}$  - коефіцієнт опору при повороті на  $180^\circ$  через перегородку в між трубному просторі,  $\xi_{180^\circ} = 1,5$ .

Сумарні гідравлічні втрати напору для міжтрубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_{\text{дод}} = \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} \cdot \left( 1 + \sum \xi \right) + b \cdot (2 + 3,3 \cdot m) \cdot \text{Re}_1^{-0,28} + (p_{\text{т}} - p_{\text{м}}) = \\ &= \frac{0,665^2 \cdot 1190}{2} \cdot (1 + 21) + 1 \cdot (2 + 3,3 \cdot 11) \cdot 5473^{-0,28} + (0,2 - 0,15) \cdot 10^6 = 55792 \text{ Па}, \end{aligned}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піппис	Лат		

де  $b$  – поправочний коефіцієнт, який залежить від кута атаки, приймаємо  $b = 1$ ;  
 $m$  – число рядів труб в пучці в напрямку руху потоку,  $m = 11$ .

Висновок: в результаті розрахунку було визначено сумарні гідравлічні втрати напору в трубному просторі  $\Delta p = 50322$  Па та міжтрубному просторі  $\Delta p = 55792$  Па.

#### 4.1.3 Параметричний розрахунок одноходового теплообмінника

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну та конструктивних розмірів апарату.

Розрахунок ведеться за методикою наведеною в [13].

Розрахункова схема теплообмінника зображена на рисунку 4.3.

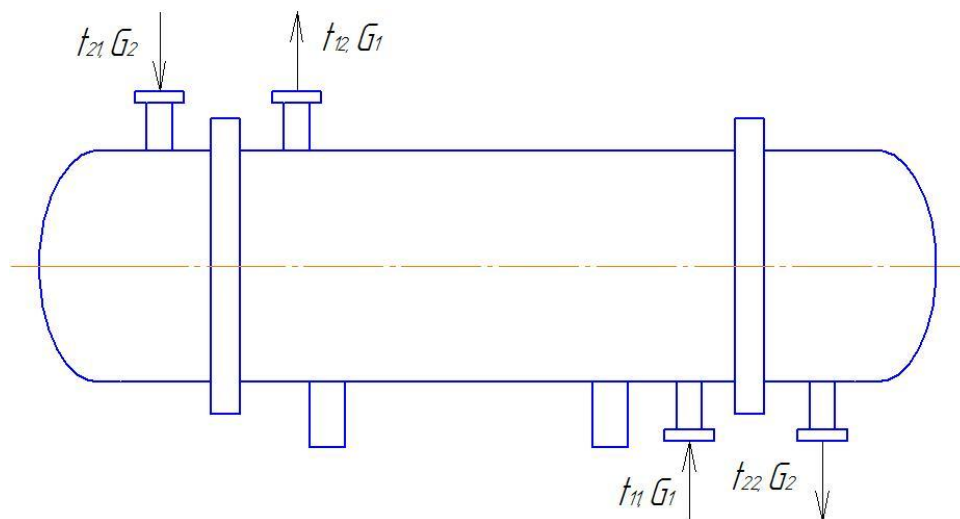


Рисунок 4.3 – Схема теплообмінника

Вихідні дані:

температура розсолу на виході К, $t_{12}$	273;
температура розсолу на вході К, $t_{11}$	267;
температура ізобутану на виході К, $t_{22}$	275;
температура ізобутану на вході К, $t_{21}$	313;
масова витрата ізобутану кг/с, $G_2$	10,83.

В якості розсолу виступає водний розчин хлористого кальцію (20,9%).

Температурна схема:

$$t_{21} = 313 \text{ К} \rightarrow t_{22} = 275 \text{ К};$$

$$t_{11} = 267 \text{ К} \rightarrow t_{12} = 273 \text{ К}.$$

Більша різниця температур між холодним та гарячим теплоносіями:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{21} - t_{12} = 313 - 273 = 40 \text{ К}.$$

Менша різниця температур між холодним та гарячим теплоносіями:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{22} - t_{11} = 275 - 267 = 8 \text{ К}.$$

Оскільки  $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} = 40 / 8 = 5 > 2$ , то середній температурний напір для протитоку визначається по формулі:

$$\Delta t_{\text{ср.пр}} = (\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}) / \ln(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}) = (40 - 8) / \ln(\frac{40}{8}) = 19,89 \text{ К}.$$

Середній температурний напір при змішаному тоці:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{A}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}} + A}{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}} - A}} = \frac{38,47}{2,3 \cdot \lg \frac{40 + 8 + 38,47}{40 + 8 - 38,47}} = 17,5 \text{ К},$$

$$\text{де } A = \sqrt{\Delta t_2^2 + \Delta t_1^2} = \sqrt{(313 - 275)^2 + (273 - 267)^2} = 38,47. [13]$$

Середня температура розсолу:

$$t_1 = (t_{11} + t_{12}) / 2 = (267 + 273) / 2 = 270 \text{ К}.$$

Середня температура ізобутану:

$$t_2 = t_1 + \Delta t_{\text{ср}} = 270 + 17,5 = 287,5 \text{ К}.$$

Витрата теплоти з врахуванням втрат у розмірі 5%:

$$Q = 1,05 \cdot G_2 \cdot c_2 (t_{21} - t_{22}) = 1,05 \cdot 10,83 \cdot 2338 \cdot (313 - 275) = 1010290 \text{ Вт},$$

де  $G_2$  - масова витрата ізобутану, кг/с, [13]

$c_2$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_2$ ,  $c_2 = 2338 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ . [13]

Масові витрати розсолу:

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 \cdot (t_{12} - t_{11})} = \frac{1010290}{3037 \cdot (273 - 267)} = 55,44 \text{ кг/с},$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

де  $c_1$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_1$ ,  $c_1 = 3037$  Дж/кг·К. [13]

Об'ємні витрати ізобутану:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{10,87}{575} = 0,0189 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Об'ємні витрати розсолу:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{55,44}{1190} = 0,0466 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Визначаємо орієнтовно значення площі поверхні теплообміну, приймаючи коефіцієнт теплопередачі  $K_{\text{оп}} = 325$  Вт/м<sup>2</sup>·К

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{1010290}{325 \cdot 17,5} = 177,63 \text{ м}^2.$$

Приймаємо число Рейнольдса  $Re_2 = 14000$ .

Кількість труб:

$$n = \frac{G_2 \cdot z}{0,785 \cdot (d_{\text{вн}} \cdot \mu_2 \cdot Re_2)} = \frac{10,83 \cdot 1}{0,785 (0,021 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3} \cdot 14000)} = 250,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{вн}} = 0,021$  м,  $z$  – число ходів,

$\mu_2$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі сірчаної кислоти  $t_2$ ,

$\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3}$  Па·с. [13]

За ГОСТ 15120-79 обираємо кожухотрубний одноходовий теплообмінник діаметром 600 мм і з трубами 25x2 мм, кількість труб  $n = 257$ , довжина труб  $L = 6$  м, прохідний переріз трубного простору  $S_T = 8,9 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>, прохідний переріз міжтрубного простору  $S_{MT} = 5,3 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup> [13].

Швидкість потоку розсолу:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_{MT}} = \frac{0,0466}{5,3 \cdot 10^{-2}} = 0,879 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для розсолу:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{зв}} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,879 \cdot 0,025 \cdot 1190}{3,615 \cdot 10^{-3}} = 7234,$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

де  $d_{зв}$  – зовнішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{зв}=0,025$  м,

$\mu_1$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі розсолу  $t_1$ ,

$$\mu_1 = 3,615 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13].$$

Швидкість потоку ізобутану:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_T} = \frac{0,0189}{8,9 \cdot 10^{-2}} = 0,212 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для ізобутану:

$$\text{Re}_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{вн} \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,212 \cdot 0,021 \cdot 575}{0,188 \cdot 10^{-3}} = 13617,$$

де  $d_{вн}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{вн}=0,021$  м

$\mu_2$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі ізобутану  $t_2$ ,

$$\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13].$$

Перевірочні значення температур відрізняються від прийнятих. Проведемо перерахунок з новими значеннями температури стінки зі сторони розсолу

$t_{ст1} = 272$  К, температуру стінки зі сторони ізобутану  $t_{ст2} = 275,7$  К.

Критерій Прандтля для розсолу біля стінки:

$$\text{Pr}_{ст1} = \frac{c_{ст1} \cdot \mu_{ст1}}{\lambda_{ст1}} = \frac{3043 \cdot 3,31 \cdot 10^{-3}}{54,4 \cdot 10^{-2}} = 18,51,$$

де  $c_{ст1}$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_{ст1}$ ,  $c_{ст1} = 3043$  Дж/кг·К [13]

$\mu_{ст1}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі розсолу при стінці  $t_{ст1}$ ,

$$\mu_{ст1} = 3,31 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13]$$

$\lambda_{ст1}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу при стінці  $t_{ст1}$ ,

$$\lambda_{ст1} = 54,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Критерій Прандтля для ізобутану біля стінки:

$$\text{Pr}_{ст2} = \frac{c_{ст2} \cdot \mu_{ст2}}{\lambda_{ст2}} = \frac{2327 \cdot 0,207 \cdot 10^{-3}}{12,56 \cdot 10^{-2}} = 3,84,$$

де  $c_{ст2}$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_{ст2}$ ,  $c_{ст2} = 2327$  Дж/кг·К; [13]

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		



$\mu_{\text{ст}2}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст}2}$ ,

$$\mu_{\text{ст}2} = 0,207 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; [13]$$

$\lambda_{\text{ст}2}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст}2}$ ,

$$\lambda_{\text{ст}2} = 12,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Критерій Нусельта для розсолу при  $\text{Re} > 1000$ :

$$\begin{aligned} \text{Nu}_1 &= 0,4 \cdot \text{Re}_1^{0,6} \cdot \text{Pr}_1^{0,36} \cdot (\text{Pr}_1 / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25} \cdot \xi_\varphi = \\ &= 0,4 \cdot 7234^{0,6} \cdot 20,5^{0,36} \cdot (20,5 / 18,51)^{0,25} \cdot 0,6 = 151,06. \end{aligned}$$

де  $\xi_\varphi$  – коефіцієнт, який враховує кут атаки,  $\xi_\varphi = 0,6$ ,  $\text{Pr}_1 = 20,5$  – критерій Прандтля для розсолу при температурі  $t_1$ . [13]

Коефіцієнт тепловіддачі для розсолу:

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{d_{36}} = \frac{151,06 \cdot 53,7 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 3245 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

де  $\lambda_1$  - коефіцієнт теплопровідності для розсолу при  $t_1$ ,  $\lambda_1 = 53,7 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ . [13]

Так як  $\text{Re}_2 > 10000$ , то формула для знаходження критерія Нусельта для ізобутану виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{Nu}_2 &= 0,021 \cdot \text{Re}_2^{0,8} \cdot \text{Pr}_2^{0,43} \cdot (\text{Pr}_2 / \text{Pr}_{\text{ст}2})^{0,25} \cdot \varepsilon_l = \\ &= 0,021 \cdot 13617^{0,8} \cdot 3,55^{0,43} \cdot (3,55 / 3,84)^{0,25} \cdot 1 = 72,04. \end{aligned}$$

де  $\text{Pr}_2$  - критерій Прандтля при температурі ізобутану  $t_2$ ,  $\text{Pr}_2 = 3,55$ . [13].

Коефіцієнт тепловіддачі для ізобутану:

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{d_{\text{вн}}} = \frac{72,04 \cdot 12,4 \cdot 10^{-2}}{0,021} = 425,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К},$$

де  $\lambda_2$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану  $t_2$ ,

$$\lambda_2 = 12,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Термічний опір стінки та забруднень:

$$\sum r_{\text{ст}} = r_1 + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_2 = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2900} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ локум.	Підпис	Лат		

де  $\frac{1}{r_1}$  - теплопровідність забруднень зі сторони розсолу,  $\frac{1}{r_1} = 5800 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$\frac{1}{r_2}$  - теплопровідність забруднень зі сторони ізобутану,  $\frac{1}{r_2} = 2900 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3245} + 6,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{425,4}} = 304,05 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Поверхнева щільність теплового потоку:

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{cp}} = 304,05 \cdot 17,5 = 5321 \text{ Вт/м}^2.$$

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{1010290}{5321} = 189,9 \text{ м}^2.$$

Кількість труб:

$$n = \frac{G_2 \cdot z}{0,785 \cdot (d_{\text{вн}} \cdot \mu_2 \cdot \text{Re}_2)} = \frac{10,83 \cdot 1}{0,785 (0,021 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3} \cdot 13617)} = 257,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{\text{вн}} = 0,021 \text{ м}$ ,

$z$  – число ходів,  $z = 1$ ,

$\mu_2$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі сірчаної кислоти  $t_2$ ,

$$\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с. [13]}$$

Довжина труб:

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{cp}} \cdot n} = \frac{189,9}{3,14 \cdot 0,023 \cdot 257} = 10,23 \text{ м},$$

де  $d_{\text{cp}}$  – середній діаметр труб,  $d_{\text{cp}} = 0,023 \text{ м}$ .

За ГОСТ 15120-79 обираємо два кожухотрубних одноходових теплообмінника діаметром 600 мм і з трубами 25х2 мм, кількість труб  $n = 257$ , довжина труб  $L = 6 \text{ м}$  [13].

Перевірка значень  $t_{\text{ст1}}$  і  $t_{\text{ст2}}$ :

$$t_{\text{ст1}} = t_1 + \frac{q}{\alpha_1} = 270 + \frac{5321}{3245} = 271,6 \text{ К},$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

$$t_{ст2} = t_2 - \frac{q}{\alpha_2} = 287,5 - \frac{5321}{425,4} = 275,1 \text{ К.}$$

Введення поправок в розрахунки не потребується.

Розрахункова площа поверхні теплопередачі:

$$F_p' = \frac{Q}{q} = \frac{1010290}{5321} = 189,9 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплопередачі із запасов в 10%:

$$F_p = 1,1 \cdot F_p' = 1,1 \cdot 189,9 = 208,9 \text{ м}^2.$$

Кількість труб:

$$n = \frac{G_2 \cdot z}{0,785 \cdot (d_{вн} \cdot \mu_2 \cdot Re_2)} = \frac{10,83 \cdot 1}{0,785 (0,021 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3} \cdot 13617)} = 257,$$

де  $d_{вн}$  – внутрішній діаметр трубок, приймаємо  $d_{вн} = 0,021$  м,  $z$  – число ходів,  $z = 1$ ,  
 $\mu_2$  – динамічний коефіцієнт в'язкості при середній температурі сірчаної кислоти  $t_2$ ,  
 $\mu_2 = 0,188 \cdot 10^{-3}$  Па·с. [13]

Довжина труб:

$$l = \frac{F_p}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n} = \frac{208,9}{3,14 \cdot 0,023 \cdot 257} = 11,26 \text{ м,}$$

де  $d_{cp}$  – середній діаметр труб,  $d_{cp} = 0,023$  м.

За ГОСТ 15120-79 обираємо два кожухотрубних одноходових теплообмінника діаметром 600 мм і з трубами 25х2 мм, кількість труб  $n = 257$ , довжина труб  $L = 6$  м, площа поверхні теплопередачі одного апарата  $F = 121 \text{ м}^2$  [13].

Число апаратів:

$$N = \frac{F_p}{F} = \frac{208,9}{121} = 1,73.$$

Приймаємо  $N = 2$  і знаходимо запас площі поверхні теплообміну:

$$\Delta = \frac{F \cdot N - F_p'}{F_p'} \cdot 100\% = \frac{121 \cdot 2 - 189,9}{189,9} \cdot 100\% = 27,44\%.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Лат		

Висновок: в результаті розрахунків була визначена необхідна площа теплообміну  $F_p = 189,9 \text{ м}^2$ , за якою остаточно приймаємо нормалізований одноходовий теплообмінник з діаметром апарату 600 мм,  $n=257$ , зовнішній діаметр труб 25мм, довжина труб 6 м, кількість теплообмінників – 2 шт.

#### 4.1.4 Гідравлічний розрахунок одноходового теплообмінника

Метою розрахунку є: визначення сумарних гідравлічних втрат напору в трубному та міжтрубному просторах.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.4.

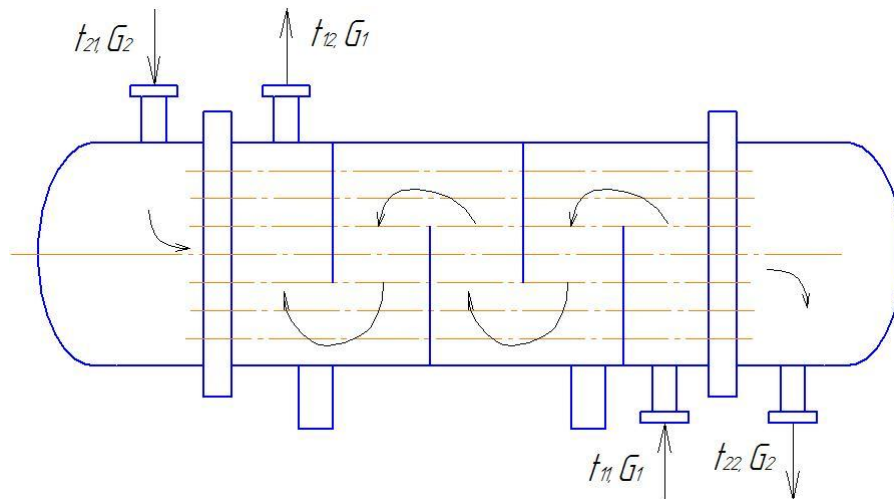


Рисунок 4.4 – Схема гідравлічного розрахунку.

Вихідні дані:

швидкість ізобутану, м/с, $\omega_2$	0,212;
критерій Рейнольдса для ізобутану, $Re_2$	13617;
швидкість розсолу, м/с, $\omega_1$	0,879;
критерій Рейнольдса для розсолу, $Re_1$	7234;
розміри трубок, мм, $d \times S_T$	25 x 2;
тиск у трубному просторі, МПа, $p_T$	0,2;
тиск у міжтрубному просторі, МПа, $p_m$	0,15;
масова продуктивність ізобутану, кг/с, $G_2$	10,83;

Скористаємося методикою розрахунку запропонованою [14].

Сума коефіцієнтів місцевого опору на всмоктуючій лінії:

$$\sum \xi = 2 \cdot \xi_{\text{вх}} + 4 \cdot \xi_{\text{тр}} + \xi_{180^\circ} = 2 \cdot 1,5 + 4 \cdot 1 + 2,5 = 9,5,$$

де  $\xi_{\text{вх}}$  – коефіцієнт опору на вході та виході в теплообмінник,  $\xi_{\text{вх}} = 1,5$ ; [14]

$\xi_{\text{тр}}$  - коефіцієнт опору на вході в труби та виході з них,  $\xi_{\text{тр}} = 1$ ; [14]

$\xi_{180^\circ}$  - коефіцієнт опору при повороті на  $180^\circ$  із однієї секції в іншу,  $\xi_{180^\circ} = 2,5$ . [14]

Коефіцієнт тертя для турбулентного режиму руху середовища:

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}_2^{0,25}} = \frac{0,316}{13617^{0,25}} = 0,029.$$

Сумарні гідравлічні втрати напору для трубного простору визначимо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_{\text{дод}} = \frac{\omega_2^2 \cdot \rho_2}{2} \cdot \left( 1 + \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{екв}}} + \sum \xi \right) + (p_{\text{т}} - p_{\text{м}}) = \\ &= \frac{0,212^2 \cdot 575}{2} \cdot \left( 1 + 0,029 \cdot \frac{6}{0,021} + 9,5 \right) + (0,2 - 0,15) \cdot 10^6 = 50243 \text{ Па} \end{aligned}$$

Визначимо сумарні гідравлічні втрати для міжтрубного простору:

Сумарний коефіцієнт гідравлічних опорів для між трубного простору:

$$\sum \xi = 2 \cdot \xi_{\text{вх}} + 12 \cdot \xi_{180^\circ} = 2 \cdot 1,5 + 12 \cdot 1,5 = 21,$$

де  $\xi_{\text{вх}}$  – коефіцієнт опору на вході та виході в теплообмінник,  $\xi_{\text{вх}} = 1,5$ ;

$\xi_{180^\circ}$  - коефіцієнт опору при повороті на  $180^\circ$  через перегородку в між трубному просторі,  $\xi_{180^\circ} = 1,5$ .

Сумарні гідравлічні втрати напору для міжтрубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_{\text{дод}} = \frac{\omega_1^2 \cdot \rho_1}{2} \cdot \left( 1 + \sum \xi \right) + b \cdot (2 + 3,3 \cdot m) \cdot \text{Re}_1^{-0,28} + (p_{\text{т}} - p_{\text{м}}) = \\ &= \frac{0,879^2 \cdot 1190}{2} \cdot (1 + 21) + 1 \cdot (2 + 3,3 \cdot 9) \cdot 7234^{-0,28} + (0,2 - 0,15) \cdot 10^6 = 60117 \text{ Па}, \end{aligned}$$

де  $b$  – поправочний коефіцієнт, який залежить від кута атаки, приймаємо  $b = 1$ ;

$m$  – число рядів труб в пучці в напрямку руху потоку,  $m = 9$ .

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ док.	Піппис	Лат		

Висновок: в результаті розрахунку було визначено сумарні гідравлічні втрати напору в трубному просторі  $\Delta p = 50243$  Па та міжтрубному просторі  $\Delta p = 60117$  Па.

#### 4.1.5 Параметричний розрахунок спірального теплообмінника

Метою параметричного розрахунку є визначення основних параметрів спірального теплообмінного апарата для охолодження ізобутану розсолем. Визначення площі теплообміну.

Розрахунок ведемо по методиці [14]

Розрахункова схема спірального теплообмінного апарата зображена на рисунку 4.5.

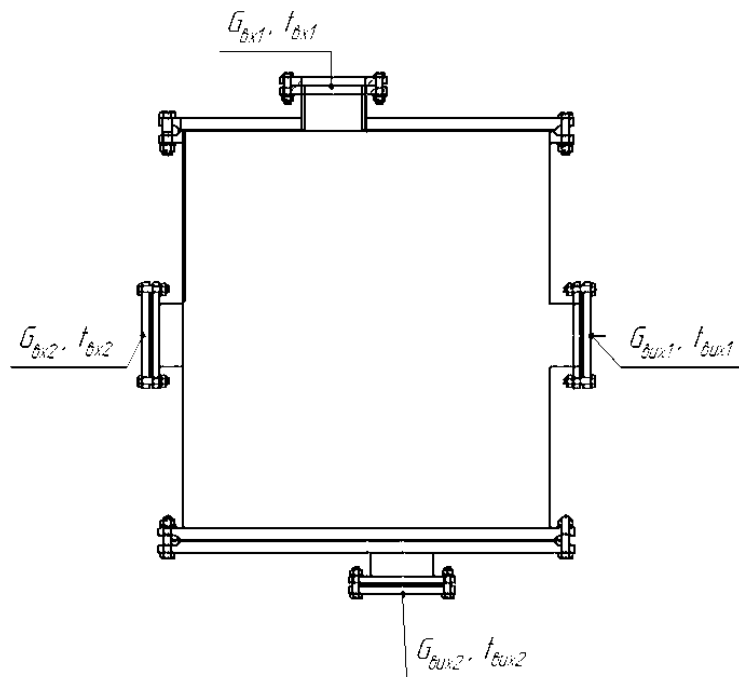


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема спірального теплообмінного апарата

Вихідні данні до розрахунку:

витрата ізобутану $G_I$ , кг/с	10,83;
початкова температура ізобутану $t_{In}$ , °C	40;
кінцева температура ізобутану $t_{Ik}$ , °C	2;

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		54

початкова температура розсолу  $t_{2n}$ , °C

-6;

кінцева температура розсолу  $t_{2к}$ , °C

0.

Теплофізичні властивості теплоносіїв наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Теплофізичні властивості теплоносіїв.

Теплоносіїв		$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\mu$ , Па·с	$C_p$ , кДж/(кг·К)
Ізобуатан	17 °C	575	0,124	0,000188	2338
Розсіл	-3 °C	1190	0,537	0,003615	3037

Тепловий розрахунок

Теплове навантаження апарата:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1п} - t_{1к}) = 10,83 \cdot 2338 \cdot (40 - 2) = 962181 \text{ Вт}$$

Витрата розсолу:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (t_{2к} - t_{2п})} = \frac{962181}{3037 \cdot (0 - (-6))} = 52,8 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_6 = t_{1п} - t_{2к} = 40 - 0 = 40 \text{ °C}$$

$$\Delta t_m = t_{1к} - t_{2п} = 2 - (-6) = 8 \text{ °C}$$

Відношення  $\Delta t_6 / \Delta t_m = 8 = 5$ , тому середня рушійна сила процесу:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} = \frac{40 - 8}{\ln\left(\frac{40}{8}\right)} = 20 \text{ °C}$$

Еквівалентний діаметр каналу теплообмінника.

Нехай ширина каналу  $\delta = 0.012$  м, тоді еквівалентний діаметр:

$$d_e = \frac{4 \cdot f}{\Pi} = \frac{4 \cdot \delta \cdot B}{2 \cdot B} = 2 \cdot \delta = 2 \cdot 0.012 = 0.024 \text{ м}$$

За ГОСТ 12067-80 приймаємо наступне ширину стрічки:

$$B_e = 1,25 \text{ м},$$

тоді площа перерізу каналу

$$f = B_e \cdot \delta = 1,25 \cdot 0,012 = 0,015 \text{ м}^2$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

Швидкість руху ізобутану в каналі:

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot f} = \frac{10,83}{575 \cdot 0,015} = 1,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Визначаємо число  $Re_1$ :

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_e}{\nu_1} = \frac{w_1 \cdot d_e \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{1,25 \cdot 0,024 \cdot 575}{0,188 \cdot 10^{-3}} = 91755$$

Обчислюємо швидкість і число  $Re_2$  для розсолу:

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot f} = \frac{52,8}{1190 \cdot 0,015} = 2,96 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$
$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_e}{\nu_2} = \frac{w_2 \cdot d_e \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{2,96 \cdot 0,024 \cdot 1190}{3,615 \cdot 10^{-3}} = 23148$$

Визначення коефіцієнтів тепловіддачі.

Для теплового розрахунку приймаємо: температуру стінки зі сторони розсолу  $t_{\text{ст}2} = 5^\circ\text{C}$ , температуру стінки зі сторони ізобутану  $t_{\text{ст}1} = 8^\circ\text{C}$ .

Критерій Прандтля для розсолу біля стінки:

$$Pr_{\text{ст}2} = \frac{c_{\text{ст}2} \cdot \mu_{\text{ст}2}}{\lambda_{\text{ст}2}} = \frac{3050 \cdot 2,864 \cdot 10^{-3}}{54,85 \cdot 10^{-2}} = 15,93,$$

де  $c_{\text{ст}2}$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_{\text{ст}2}$ ,  $c_{\text{ст}2} = 3050 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  [13]

$\mu_{\text{ст}2}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст}2}$ ,

$$\mu_{\text{ст}2} = 2,864 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} [13]$$

$\lambda_{\text{ст}2}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст}2}$ ,

$$\lambda_{\text{ст}2} = 54,85 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Критерій Прандтля для ізобутану біля стінки:

$$Pr_{\text{ст}1} = \frac{c_{\text{ст}1} \cdot \mu_{\text{ст}1}}{\lambda_{\text{ст}1}} = \frac{2314 \cdot 0,196 \cdot 10^{-3}}{12,49 \cdot 10^{-2}} = 3,63,$$

де  $c_{\text{ст}1}$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_{\text{ст}1}$ ,  $c_{\text{ст}1} = 2314 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ ; [13]

$\mu_{\text{ст}1}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст}1}$ ,

$$\mu_{\text{ст}1} = 0,196 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; [13]$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		



$\lambda_{\text{ст1}}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\lambda_{\text{ст1}} = 12,49 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від ізобутану до стінки:

$$\begin{aligned} Nu_1 &= 0,021 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_1^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr_1}{Pr_{\text{ст1}}} \right)^{0.25} = \\ &= 0,021 \cdot 91755^{0.8} \cdot 3,55^{0.43} \cdot \left( \frac{3,55}{3,63} \right)^{0.25} = 336 \end{aligned}$$

звідки

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_e} = \frac{336 \cdot 0,124}{0,024} = 1736 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Аналогічно знайдемо коефіцієнт тепловіддачі для розсолу:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,021 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{\text{ст2}}} \right)^{0.25} = \\ &= 0,021 \cdot 23148^{0.8} \cdot 20,5^{0.43} \cdot \left( \frac{20,5}{15,93} \right)^{0.25} = 254 \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_e} = \frac{254 \cdot 0,537}{0,024} = 5683 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Термічний опір стінки та забруднень:

$$\sum r_{\text{ст}} = r_1 + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_2 = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2900} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де  $\frac{1}{r_1}$  - теплопровідність забруднень зі сторони розсолу,  $\frac{1}{r_1} = 5800 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$\frac{1}{r_2}$  - теплопровідність забруднень зі сторони ізобутану,  $\frac{1}{r_2} = 2900 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1736} + 6,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{5683}} = 724 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}$$

Необхідна поверхня теплообміну спірального теплообмінника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{962181}{724 \cdot 20} = 66,45 \text{ м}^2$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

Приймаємо спіральний теплообмінник за ГОСТом 12067 – 72 з площею теплообміну  $100\text{м}^2$  і робимо перерахунок.

Ширина каналу  $\delta = 0,012$  м, тоді ефективна ширина стрічки:

$$B_e = \frac{f}{\delta} = \frac{0,015}{0,012} = 1,25 \text{ м}$$

Довжина каналу:

$$L = \frac{F}{2 \cdot B_e} = \frac{100}{2 \cdot 1,25} = 40 \text{ м}$$

Робимо перерахунок температури стінок:

$$q = K \cdot \Delta \bar{t} = 724 \cdot 20 = 14480 \text{ Вт/м}^2$$

$$t_{\text{ст}_1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 17 - \frac{14480}{1736} = 8,6^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ст}_2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = -3 + \frac{14480}{5683} = -0,45^\circ\text{C}$$

Перевірочні значення температур відрізняються від прийнятих. Проведемо перерахунок з новими значеннями: температура стінки зі сторони розсолу  $t_{\text{ст}_2} = -0,45^\circ\text{C}$ , температура стінки зі сторони ізобутану  $t_{\text{ст}_1} = 8,6^\circ\text{C}$ .

Критерій Прандтля для розсолу біля стінки:

$$\text{Pr}_{\text{ст}_2} = \frac{c_{\text{ст}_2} \cdot \mu_{\text{ст}_2}}{\lambda_{\text{ст}_2}} = \frac{3044 \cdot 3,275 \cdot 10^{-3}}{54,2 \cdot 10^{-2}} = 18,39,$$

де  $c_{\text{ст}_2}$  - теплоємність розсолу при температурі  $t_{\text{ст}_2}$ ,  $c_{\text{ст}_2} = 3044 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  [13]

$\mu_{\text{ст}_2}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст}_2}$ ,

$\mu_{\text{ст}_2} = 3,275 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  [13]

$\lambda_{\text{ст}_2}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі розсолу при стінці  $t_{\text{ст}_2}$ ,

$\lambda_{\text{ст}_2} = 54,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ . [13]

Критерій Прандтля для ізобутану біля стінки:

$$\text{Pr}_{\text{ст}_1} = \frac{c_{\text{ст}_1} \cdot \mu_{\text{ст}_1}}{\lambda_{\text{ст}_1}} = \frac{2314 \cdot 0,196 \cdot 10^{-3}}{12,49 \cdot 10^{-2}} = 3,63,$$

де  $c_{\text{ст}_1}$  - теплоємність ізобутану при температурі  $t_{\text{ст}_1}$ ,  $c_{\text{ст}_1} = 2314 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ ; [13]

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$\mu_{\text{ст1}}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\mu_{\text{ст1}} = 0,196 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; [13]$$

$\lambda_{\text{ст1}}$  - коефіцієнт теплопровідності при температурі ізобутану при стінці  $t_{\text{ст1}}$ ,

$$\lambda_{\text{ст1}} = 12,49 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}. [13]$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від ізобутану до стінки:

$$\begin{aligned} Nu_1 &= 0,021 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_1^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr_1}{Pr_{\text{ст1}}} \right)^{0.25} = \\ &= 0,021 \cdot 91755^{0.8} \cdot 3,55^{0.43} \cdot \left( \frac{3,55}{3,63} \right)^{0.25} = 336 \end{aligned}$$

звідки

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_e} = \frac{336 \cdot 0,124}{0,024} = 1736 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Аналогічно знайдемо коефіцієнт тепловіддачі для розсолу:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,021 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{\text{ст2}}} \right)^{0.25} = \\ &= 0,021 \cdot 23148^{0.8} \cdot 20,5^{0.43} \cdot \left( \frac{20,5}{18,39} \right)^{0.25} = 245 \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_e} = \frac{245 \cdot 0,537}{0,024} = 5482 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі та необхідної поверхні теплообміну.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1736} + 6,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{5482}} = 720 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Необхідна поверхня теплообміну спірального теплообмінника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{962181}{720 \cdot 20} = 66,82 \text{ м}^2$$

Приймаємо спіральний теплообмінник за ГОСТом 12067 – 72 з площею теплообміну  $100 \text{ м}^2$  і робимо перерахунок.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Ширина каналу  $\delta = 0,012$  м, тоді ефективна ширина стрічки:

$$B_e = \frac{f}{\delta} = \frac{0,015}{0,012} = 1,25 \text{ м}$$

Довжина каналу:

$$L = \frac{F}{2 \cdot B_e} = \frac{100}{2 \cdot 1,25} = 40 \text{ м}$$

Робимо перерахунок температури стінок

$$q = K \cdot \Delta \bar{t} = 720 \cdot 20 = 14400 \text{ Вт/м}^2$$

$$t_{\text{ст}1} = t_{\text{ст}1} - \frac{q}{\alpha_1} = 16 - \frac{14400}{1736} = 8,7^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ст}2} = t_{\text{ст}2} + \frac{q}{\alpha_2} = -3 + \frac{14400}{5482} = -0,37^\circ\text{C}$$

Введення поправок в розрахунки не потребується.

Висновок: згідно з ГОСТом 12067 – 72 вибираємо спіральний теплообмінник з такими характеристиками: площа теплообміну  $100 \text{ м}^2$ , ефективна ширина стрічки  $1,25 \text{ м}$ , довжина каналу  $40 \text{ м}$ .

#### 4.1.6 Гідравлічний розрахунок спірального теплообмінника

Мета розрахунку: визначення сумарних втрат тиску.

Методика розрахунку наведена в [14].

Схема гідравлічного розрахунку наведена на рисунку 4.6.

Вихідні дані:

еквівалентний діаметр каналу $d_e$ , м	0,024;
довжина каналу $L$ , м	40;
швидкість ізобутану $\omega_1$ , м/с	1,25;
швидкість розсолу $\omega_2$ , м/с	2,96;
витрата ізобутану $G_1$ , кг/с	10,83;
витрата розсолу $G_2$ , кг/с	52,8.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

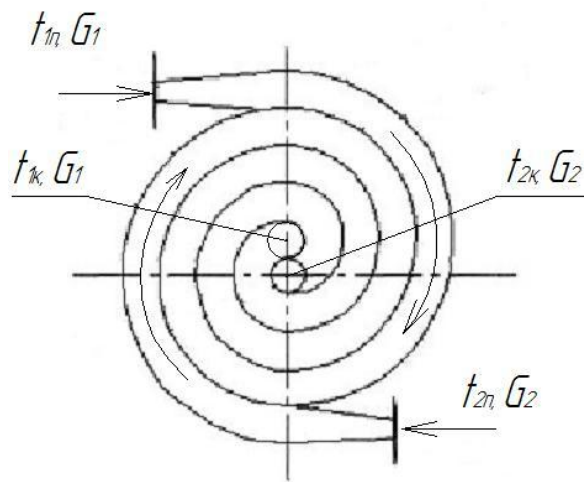


Рисунок 4.6 – Схема гідравлічного розрахунку

Визначення коефіцієнта опору тертя для реальних шорсткуватих каналів:

$$\lambda_{i31} = 0.1 \cdot \left( \frac{1.46 \cdot k}{d_e} + \frac{100}{Re_1} \right)^{0.25} = 0.1 \cdot \left( \frac{1.46 \cdot 0.1}{0.024} + \frac{100}{91755} \right)^{0.25} = 0.157056$$

$$\lambda_{i32} = 0.1 \cdot \left( \frac{1.46 \cdot k}{d_e} + \frac{100}{Re_2} \right)^{0.25} = 0.1 \cdot \left( \frac{1.46 \cdot 0.1}{0.024} + \frac{100}{23148} \right)^{0.25} = 0.157077$$

де  $k$  – абсолютна шорсткість поверхні теплообміну 0,06-0,20.

При неізотермічному русі рідини коефіцієнт опору:

$$\lambda_{неіз1} = \lambda_{i31} \cdot \left( \frac{Pr_{ст1}}{Pr_1} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} = 0.157056 \cdot \left( \frac{3.63}{3.55} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} = 0.158$$

$$\lambda_{неіз2} = \lambda_{i32} \cdot \left( \frac{Pr_{ст2}}{Pr_2} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} = 0.157077 \cdot \left( \frac{18.39}{20.5} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} = 0.152$$

Коефіцієнт опору тертя для всього каналу:

$$\xi_{т1} = \lambda_{неіз1} \cdot \frac{L}{d_e} = 0.158 \cdot \frac{40}{0.024} = 263$$

$$\xi_{т2} = \lambda_{неіз2} \cdot \frac{L}{d_e} = 0.152 \cdot \frac{40}{0.024} = 253$$

Повний гідравлічний опір:

$$\Delta P_1 = (\xi_m + \xi_{т1}) \rho_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} = (0.5 + 263) \cdot 575 \cdot \frac{1.25^2}{2} = 118369, \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = (\xi_m + \xi_{T2}) \rho_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{2} = (0.5 + 253) \cdot 1190 \cdot \frac{2.96^2}{2} = 1321534 \text{ , Па}$$

Висновки: сумарні втрати тиску по ізобутану дорівнюють 118369 Па, а по розсолу 1321534 Па.

## 4.2 Розрахунок реактора

### 4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата

Мета: визначити основні геометричні розміри горизонтального реактора алкилювання.

У промисловій практиці реакція алкилювання ізопарафінів олефінами здійснюється при температурі 275–316К під дією каталізатора (сірчаної кислоти). Прийmemo в нашому випадку температуру реакції  $T = 293 \text{ К}$  та робочий тиск 0,2 МПа. Будем вважати, що вуглеводні і кислота завантажуються в реактор також при температурі  $T = 293 \text{ К}$ . Реактор має п'ять секцій з мішалками та зону для відстоювання сірчаної кислоти. Мішалки застосовують для інтенсифікації хімічних реакцій сірчаноокислого алкилювання, запобігання утворенню осаду на стінках апарата і днищі.

Основна реакція алкилювання:

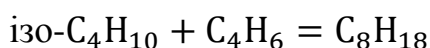


Схема горизонтального реактора алкилювання зображена на рисунку 4.7.

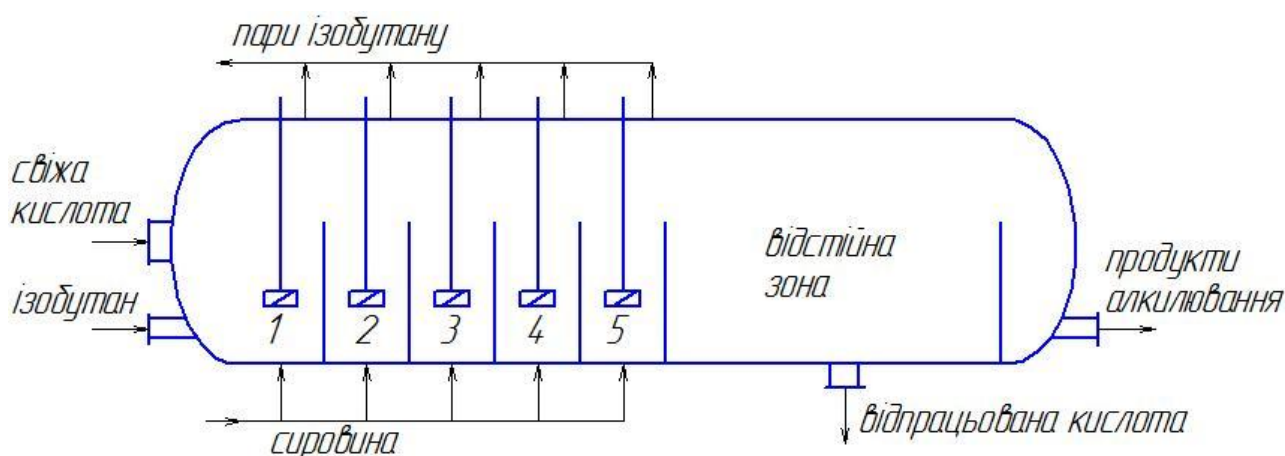


Рисунок 4.7 – Схема горизонтального реактора алкилювання

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

Розрахувати горизонтальний реактор каскадного типу для алкилювання ізобутану бутан-бутиленовою фракцією в присутності сірчаної кислоти. Реакційна зона складається із п'яти секцій. Продуктивність реактора 15 т/год, склад сировини наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Склад сировини

Показники	Компоненти						Сума
	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	н-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	
Молекулярна маса	42	44	56	58	58	72	-
Кількість, кг/год	90	240	4195	5515	4765	195	15000

Розрахунок проведемо за методикою наведеною в [15].

Для отримання відносно великої кількості високоякісного алкілату і нормальної роботи реактора потрібен надлишок ізобутану. Тому мольне співвідношення ізобутану до олефіну (бутилену) необхідно підтримувати в межах від 6:1 до 10:1. Чим вище це співвідношення тим вище вихід алкілату. Приймем співвідношення 9:1. Тоді кількість ізобутану, яку потрібно подати в реактор, кг/год:

$$G_i = 9G_0 \frac{M_i}{M_0} = 9 \cdot 4195 \cdot \frac{58}{56} = 39100 ,$$

де  $G_0$  – кількість олефіну (бутилену) в вихідній сировині, кг/год;  $M_i$ ,  $M_0$  – молекулярна маса, відповідно, ізобутану і олефіну.

Склад сировини, що подається в реактор, з урахуванням надлишкового ізобутану наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Склад сировини, що подається в реактор

Показники	Компоненти						Сума
	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	н-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	
Молекулярна маса	42	44	56	58	58	72	-
Кількість, кг/год	90	240	4195	39100	4765	195	48590

# 1. Розрахунок першої секції.

## Матеріальний баланс.

Згідно схеми роботи реактора (рисунок 4.7), в усі його п'ять секцій сировина подається паралельними і рівними потоками. Тому в першу секцію подається всього ізобутану, кг/год:

$$G_{i1} = G_i - \frac{4}{5} G_{ic} = 39100 - \frac{4}{5} 5515 = 34690 ,$$

де  $G_{ic}=5515$  кг/год – маса ізобутану у вихідній сировині.

Кількість ізобутану, що циркулює, який надходить у першу секцію, кг/год:

$$G_{ic1} = G_i - \frac{G_{ic}}{5} = 39100 - \frac{5515}{5} = 33587.$$

Кількість свіжого ізобутану, що надходить у першу секцію, кг/год:

$$G_{свіж.} = G_{i1} - G_{ic1} = 34690 - 33587 = 1103.$$

Склад завантаження першої секції реактора наведено в таблиці 4.4.

Кількість кожного компоненту, що подається в першу секцію, приймається в 5 разів меншою за кількість відповідного компоненту у вихідній сировині.

Таблиця 4.4 – Склад завантаження першої секції реактора

Компоненти завантаження	Густина	Кількість
	кг/м <sup>3</sup>	кг/год
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	627,3	18
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	597,9	48
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	642	839
ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (свіжий)	575,3	1103
ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (рециркулят)	575,3	33590
н-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	595	953
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	641	39
Сума	—	36590

Кількість каталізатора, що надходить до першої секції, кг/год:

$$G_k = \Sigma G \cdot \alpha_1 = 36590 \cdot 1,2 = 43910$$



Вихід алкилату, кг/год:

$$G_{ал1} = G_{C_4H_8} + G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 839 + 839 \frac{58}{56} = 1708$$

При цьому кількість свіжого ізобутану, що не увійшов в реакцію (відпрацьований), кг/год:

$$G_{io1} = G_{свіж.} - G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 1103 - 839 \frac{58}{56} = 234$$

В таблиці 4.5 наведено склад вуглеводнів, що виходять з першої секції.

Теплове навантаження першої секції.

Всі зовнішні та внутрішні матеріальні потоки реактора, за раніше прийнятою умовою, мають температуру  $T=293$  К, тому теплове навантаження секції приймаємо рівним теплу, яке виділяється в процесі алкилювання. Приймаємо, що тепло основної реакції алкилювання, становить 80% від теплового навантаження  $Q_1$ , тоді отримаємо, кДж/год:

$$Q_1 = \frac{G_{ал1} q_p}{0,8} = \frac{1708 \cdot 1050}{0,8} = 2,242 \cdot 10^6,$$

де  $q_p = 1050$  кДж/кг – теплота основної реакції алкилювання.

Таблиця 4.5 – Склад вуглеводнів, що виходять з першої секції

Компоненти завантаження	Кількість
	кг/год
$C_3H_6$	18
$C_3H_8$	48
ізо- $C_4H_{10}$ (відпрацьований)	234
ізо- $C_4H_{10}$ (рециркулянт)	33590
н- $C_4H_{10}$	953
$C_5H_{12}$	39
Алкилат ( $C_8H_{18}$ )	1708
Сума	36590

Визначається тиск у першій секції.

Тиск при температурі реакції  $T=293$  К розраховуємо за рівнянням ізотерми рідкої фази:

$$\begin{aligned}\pi &= \sum P_i x_i + P_k = \\ &= 658 \cdot 0,0007 + 540 \cdot 0,0018 + 180 \cdot 0,946 + 122 \cdot 0,264 + 30,2 \cdot 0,0009 + 0,55 \cdot 0,0242 \\ &= 175 \cdot 10^3 \text{ Па},\end{aligned}$$

де  $P_i$  – тиск насичених парів чистих вуглеводів при  $T=293$  К, визначається за діаграмою Кокса чи по таблицям,  $P_k$  – тиск насиченої пари сірчаної кислоти (при  $T=293$  К приймаємо рівним нулю, так як температура її кипіння за нормального тиску значно вище 573 К),  $x_i$  – мольні долі вуглеводневих компонентів.

В усіх інших секціях приймається такий же тиск.

Кількість вуглеводнів, що випаровуються з першої секції.

Пари, що виходять із першої секції, знаходяться в рівновазі з рідиною, що випаровується. Їх склад може бути визначений по кожному компоненту з рівняння рівноваги фаз:

$$\begin{aligned}y_i &= \frac{P_i}{\pi} x_i \\ y'_{C_3H_6} &= \frac{658 \cdot 10^3 \cdot 0,0007}{175 \cdot 10^3} = 0,0026; \\ y'_{C_3H_8} &= \frac{540 \cdot 10^3 \cdot 0,0018}{175 \cdot 10^3} = 0,0055; \\ y'_{изо-C_4H_{10}} &= \frac{180 \cdot 10^3 \cdot 0,946}{175 \cdot 10^3} = 0,972; \\ y'_{н-C_4H_{10}} &= \frac{122 \cdot 10^3 \cdot 0,0264}{175 \cdot 10^3} = 0,019; \\ y'_{C_5H_{12}} &= \frac{30,2 \cdot 10^3 \cdot 0,0009}{175 \cdot 10^3} = 0,000152; \\ y'_{ал} &= \frac{0,55 \cdot 10^3 \cdot 0,0242}{175 \cdot 10^3} = 0,000076;\end{aligned}$$

Перевірка:

$$\sum y \approx 1$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

За знайденими концентраціями компонентів в парах і теплоті випаровування чистих компонентів при  $T=293$  К знаходимо за правилом адитивності теплоту випаровування  $r_m$  суміші парів. Весь розрахунок зведений до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Склад по кожному компоненту газу

Компоненти	$y_i$	$r_i$	$y_i r_i$
	мол. частка	кДж/кмоль	кДж/кмоль
$C_3H_6$	0,0026	15600	40,56
$C_3H_8$	0,0055	16200	89,1
ізо- $C_4H_{10}$	0,972	20400	19828,8
н- $C_4H_{10}$	0,019	22000	418
$C_5H_{12}$	0,000152	27400	4,17
Алкилат ( $C_8H_{18}$ )	0,000076	42300	3,22
Сума	0,999~1	—	$r_m=20380$

Знаючи цю теплоту і теплове навантаження секції, визначимо кількість парів вуглеводнів, що утворюються в першій секції, кмоль/год:

$$V_{m1} = \frac{Q_1}{r_m} = \frac{2.242 \cdot 10^6}{20380} = 110$$

Суму кількості кожного компоненту в парах знайдемо за формулою, кмоль/год:

$$\Sigma V_i = \Sigma(V_{m1} y_i) = 110 \cdot 0,0026 + 110 \cdot 0,055 + 110 \cdot 0,972 + 110 \cdot 0,019 + \\ + 110 \cdot 0,000152 + 110 \cdot 0,000076 = 109$$

Перевірка:

$$V_{m1} \sim \Sigma V_i$$

Аналізуючи проведені розрахунки, неважко зрозуміти, що майже вся теплота в першій секції приходить на випаровування ізобутану. Тому без великої похибки кількість ізобутану, що випаровується, можна знайти із наближеного рівняння теплового балансу випаровування, в якому кількість парів пропілену і

пропану вважається рівною кількості цих вуглеводнів в сировині. Таким чином отримаємо:

$$V_{1\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} = \frac{Q_1 - \frac{G_{\text{C}_3\text{H}_6}}{M_{\text{C}_3\text{H}_6}} r_{\text{C}_3\text{H}_6} - \frac{G_{\text{C}_3\text{H}_8}}{M_{\text{C}_3\text{H}_8}} r_{\text{C}_3\text{H}_8}}{r_{\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}}} = \frac{2.242 \cdot 10^6 - \frac{18}{42} 15600 - \frac{48}{44} 16200}{20400} = 109, \text{ кмоль/год}$$

або

$$V_{1\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} = V_{1\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} M_i = 109 \cdot 58 = 6304, \text{ кг/год.}$$

Цей результат дуже близький до отриманого вище.

Об'єм кислоти і вуглеводнів в першій секції.

Потрібно розрізнити час перебування компонентів в секції реактора і тривалість реакції. Остання в проточних апаратах визначається об'ємною швидкістю живлення реактора сировиною і знаходиться дослідним шляхом. При алкилюванні ізопарафінів олефінами під об'ємною швидкістю розуміють об'ємну кількість олефінів, що подається за 1 год на одиницю об'єму каталізатора, що знаходиться в секції (дійсна реакційна зона).

Відомо, що зі зменшенням об'ємної швидкості знижується сортність алкілату. Із практики використання установок алкилювання відомо, що об'ємна швидкість знаходиться в межах  $0,1 - 0,6 \text{ год}^{-1}$ . Прийнемо для нашого випадку об'ємну швидкість  $\omega = 0,2 \text{ год}^{-1}$ . Тоді об'єм кислоти в секції,  $\text{м}^3$ :

$$V_{k1} = \frac{V_{ol1}}{\omega_1} = \frac{1,3}{0,2} = 6,5$$

де  $V_{ol1} = 1,3 \text{ м}^3/\text{год}$  – кількість олефіну, що подається в секцію.

Знаючи, що відношення об'єму кислоти до об'єму вуглеводнів в першій секції  $\alpha_1 = 1,2$ , знайдемо об'єм вуглеводнів в секції,  $\text{м}^3$ :

$$V_{y1} = \frac{V_{k1}}{\alpha_1} = \frac{6,5}{1,2} = 5,417$$

Сумарний об'єм кислоти і вуглеводнів в секції,  $\text{м}^3$ :

$$V_1 = V_{k1} + V_{y1} = 6,5 + 5,417 = 11,917$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

Знайдемо тривалість перебування суміші вуглеводнів і кислоти (час контакту) в першій секції, хв:

$$\tau_1 = \frac{60V_1}{R_1} = \frac{60 \cdot 11,917}{87,524} = 8,169$$

де  $R_1 = 87,524 \text{ м}^3/\text{год}$  – об'єм суміші, що поступає в першу секцію.

Розміри першої секції.

В реакційних апаратах, якщо рідка суміш речовин, що реагують, не спінюється, то степінь заповнення  $\varphi = 0,7 \div 0,85$ . Приймаємо  $\varphi = 0,7$ . Тоді повний об'єм першої секції,  $\text{м}^3$ :

$$V_{p1} = \frac{V_1}{\varphi} = \frac{11,917}{0,7} = 17$$

Приймаючи довжину секції  $l = 2 \text{ м}$ , знайдемо діаметр апарата, м:

$$D = \sqrt{\frac{4V_{p1}}{\pi l}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 17}{3,14 \cdot 2}} = 3,293$$

Приймаємо  $D = 3,4 \text{ м}$ .

Як було сказано на початку розрахунку, всі п'ять реакційних секцій апарата будуть мати однакові розміри:  $D = 3,4 \text{ м}$ ,  $l = 2 \text{ м}$ .

## 2. Розрахунок другої секції.

Матеріальний баланс.

При визначенні завантаження другої і всіх інших секцій, в цілях деякого скорочення розрахунку, будемо вважати, що вся пропан-пропіленова фракція в будь-якій секції випаровується повністю, а н-бутан, пентан і алкілат не випаровуються зовсім.

Кількість рециркулюючого ізобутану, що поступає в другу секцію:

$$G_{iц2м} = G_{iм} - M_{пб} = 579,11 - 109 = 470,11, \text{ кмоль/год},$$

де  $M_{пб} = 109$  молекулярна маса полімер бензину,

$$G_{iм} = \frac{G_{iц1}}{M_i} = \frac{33587}{58} = 579,11 \text{ кмоль/год}.$$

або

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

$$G_{i2} = G_{i2m} M_i = 470,11 \cdot 58 = 27270 \text{ ,кг/год.}$$

В таблиці 4.7 наведено масові та об'ємні кількості компонентів завантаження в другу секцію.

Таблиця 4.7 - кількості компонентів завантаження в другу секцію

Компоненти	Кількість	
	кг/год	м <sup>3</sup> /год
$C_3H_6 + C_3H_8$	66	0,109
$C_4H_8$	839	1,307
ізо- $C_4H_{10}$ (свіжий)	1103	1,917
ізо- $C_4H_{10}$ (відпрацьований)	234	0,407
ізо- $C_4H_{10}$ (рециркулянт)	27270	47,395
n- $C_4H_{10}$	953+953	3,203
$C_5H_{12}$	39+39	0,122
Алкилат ( $C_8H_{18}$ )	1708	2,389
Сума	33200	56,849

Відношення об'єму каталізатора і вуглеводнів в другій секції:

$$\alpha_2 = \frac{G_k}{\Sigma G_2} = \frac{43910}{33200} = 1,322$$

Кількість алкилату , що утворюється в другій секції, буде такою ж як і в першій, кг/год:

$$G_{ал2} = G_{C_4H_8} + G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 839 + 839 \frac{58}{56} = 1708$$

Кількість свіжого ізобутану, що не ввійшов в реакцію (відпрацьований), кг/год:

$$G_{io2} = G_{свіж.} - G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 1103 - 839 \frac{58}{56} = 234$$

Теплове навантаження секції.

Обраховуємо так же, як і для першої секції, кДж/год:

$$Q_2 = \frac{G_{ал2} q_p}{0,8} = \frac{1708 \cdot 1050}{0,8} = 2,242 \cdot 10^6$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піліпис	Лат		

Кількість вуглеводнів, що випаровуються у другій секції.

За припущень, які зроблено при тепловому розрахунку першої секції, знайдемо кількість ізобутану, що випаровується у другій секції:

$$V_{2\text{мізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} = \frac{Q_2 - \frac{G_{\text{C}_3\text{H}_6}}{M_{\text{C}_3\text{H}_6}} r_{\text{C}_3\text{H}_6} - \frac{G_{\text{C}_3\text{H}_8}}{M_{\text{C}_3\text{H}_8}} r_{\text{C}_3\text{H}_8}}{r_{\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}}} = \frac{2.242 \cdot 10^6 - \frac{18}{42} 15600 - \frac{48}{44} 16200}{20400} = 109 \text{ ,кмоль/год}$$

або

$$V_{2\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} = V_{2\text{мізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} M_i = 109 \cdot 58 = 6304 \text{ ,кг/год.}$$

Час перебування суміші вуглеводнів і кислоти в другій секції.

Повний об'єм другої секції такий же, як і першої:  $V_{p2} = V_{p1} = 17 \text{ м}^3$ . При степені заповнення  $\varphi = 0,7$  об'єм суміші вуглеводнів і кислоти,  $\text{м}^3$ :

$$V_2 = \varphi V_{p2} = 0,7 \cdot 17 = 11,917$$

Час перебування суміші (тривалість контакту) в другій секції, хв:

$$\tau_2 = \frac{60V_2}{R_2} = \frac{60 \cdot 11,917}{80,973} = 8,83$$

де  $R_2 = 80,973 \text{ м}^3/\text{год}$  – об'єм суміші, що поступає в другу секцію.

Об'ємна швидкість подачі олефінів.

Об'єм кислоти в другій секції,  $\text{м}^3$ :

$$V_{k2} = \frac{R_k \tau_2}{60} = \frac{24,124 \cdot 8,83}{60} = 3,55$$

Об'єм вуглеводнів,  $\text{м}^3$ :

$$V_{y2} = V_2 - V_{k2} = 11,917 - 3,55 = 8,366$$

Об'ємна швидкість подачі олефінів,  $\text{год}^{-1}$ :

$$\omega_2 = \frac{V_{ол2}}{V_{k2}} = \frac{1,3}{3,55} = 0,366$$

3. Розрахунок третьої секції.

Всі обрахунки проводяться за аналогом розрахунку другої секції. Масові та об'ємні кількості компонентів завантаження наведені в таблиці 4.8.

Відношення об'ємів каталізатора і вуглеводнів в третій секції:

$$\alpha_3 = \frac{G_k}{\Sigma G_3} = \frac{43910}{29810} = 1,473$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

Таблиця 4.8 - кількості компонентів завантаження в третю секцію

Компоненти	Кількість	
	кг/год	м <sup>3</sup> /год
$C_3H_6 + C_3H_8$	66	0,109
$C_4H_8$	839	1,307
ізо- $C_4H_{10}$ (свіжий)	1103	1,917
ізо- $C_4H_{10}$ (відпрацьований)	234+234	0,814
ізо- $C_4H_{10}$ (рециркулянт)	20940	36,406
n- $C_4H_{10}$	953+953+953	4,805
$C_5H_{12}$	39+39+39	0,183
Алкилат ( $C_8H_{18}$ )	1708+1708	4,778
Сума	29810	50,319

$$G_{алз} = G_{C_4H_8} + G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 839 + 839 \frac{58}{56} = 1708 \text{ кг/год}$$

$$G_{іоз} = G_{свіж.} - G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 1103 - 839 \frac{58}{56} = 234 \text{ кг/год}$$

$$Q_3 = \frac{G_{алз} q_p}{0,8} = \frac{1708 \cdot 1050}{0,8} = 2,242 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$$

$$V_{3ізо-C_4H_{10}} = \frac{Q_3 - \frac{G_{C_3H_6}}{M_{C_3H_6}} r_{C_3H_6} - \frac{G_{C_3H_8}}{M_{C_3H_8}} r_{C_3H_8}}{r_{ізо-C_4H_{10}}} = \frac{2,242 \cdot 10^6 - \frac{18}{42} 15600 - \frac{48}{44} 16200}{20400} = 109, \text{ кмоль/год}$$

або

$$V_{3ізо-C_4H_{10}} = V_{3ізо-C_4H_{10}} M_i = 109 \cdot 58 = 6304 \text{ кг/год}$$

$$V_{p3} = 17 \text{ м}^3$$

$$V_3 = \varphi V_{p3} = 0,7 \cdot 17 = 11,917 \text{ м}^3$$

$$\tau_3 = \frac{60 V_3}{R_3} = \frac{60 \cdot 11,917}{50,319} = 9,605 \text{ хв}$$

$$V_{к3} = \frac{R_k \tau_3}{60} = \frac{24,124 \cdot 9,605}{60} = 3,862 \text{ м}^3$$

$$V_{y3} = V_3 - V_{к3} = 11,917 - 3,862 = 8,055 \text{ м}^3$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		



$$\omega_3 = \frac{V_{\text{олз}}}{V_{\text{кз}}} = \frac{1.3}{3.862} = 0,337 \text{ год}^{-1}$$

4. Розрахунок четвертої секції.

Обрахунки проводяться по тій же схемі.

Масові та об'ємні кількості компонентів завантаження наведено в таблиці 4.9.

Відношення об'ємів каталізатора і вуглеводнів в четвертій секції:

$$\alpha_4 = \frac{G_{\text{к}}}{\Sigma G_4} = \frac{43910}{26420} = 1,662$$

$$G_{\text{ал4}} = G_{\text{C}_4\text{H}_8} + G_{\text{C}_4\text{H}_8} \frac{M_i}{M_0} = 839 + 839 \frac{58}{56} = 1708 \text{ кг/год}$$

$$G_{\text{іо4}} = G_{\text{свіж.}} - G_{\text{C}_4\text{H}_8} \frac{M_i}{M_0} = 1103 - 839 \frac{58}{56} = 234 \text{ кг/год}$$

$$Q_4 = \frac{G_{\text{ал4}} q_p}{0,8} = \frac{1708 \cdot 1050}{0,8} = 2,242 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$$

Таблиця 4.9 - кількості компонентів завантаження в четверту секцію

Компоненти	Кількість	
	кг/год	м <sup>3</sup> /год
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	66	0,109
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	839	1,307
ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (свіжий)	1103	1,917
ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (відпрацьований)	234+234+234	1,22
ізо-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (рециркулят)	14620	25,417
н-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	953+953+953+953	6,407
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	39+39+39+39	0,243
Алкилат (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	1708+1708+1708	7,166
Сума	26420	43,786

$$V_{4\text{ізо-C}_4\text{H}_{10}} = \frac{Q_4 - \frac{G_{\text{C}_3\text{H}_6}}{M_{\text{C}_3\text{H}_6}} r_{\text{C}_3\text{H}_6} - \frac{G_{\text{C}_3\text{H}_8}}{M_{\text{C}_3\text{H}_8}} r_{\text{C}_3\text{H}_8}}{r_{\text{ізо-C}_4\text{H}_{10}}} = \frac{2.242 \cdot 10^6 - \frac{18}{42} 15600 - \frac{48}{44} 16200}{20400} = 109, \text{ кмоль/год}$$

або

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

$$V_{4\text{ізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} = V_{4\text{мізо}-\text{C}_4\text{H}_{10}} M_i = 109 \cdot 58 = 6304 \text{ кг/год}$$

$$V_{p4} = 17 \text{ м}^3$$

$$V_4 = \varphi V_{p4} = 0,7 \cdot 17 = 11,917 \text{ м}^3$$

$$\tau_4 = \frac{60V_4}{R_4} = \frac{60 \cdot 11,917}{43,786} = 10,528 \text{ хв}$$

$$V_{к4} = \frac{R_{к4} \tau_4}{60} = \frac{24,124 \cdot 10,528}{60} = 4,233 \text{ м}^3$$

$$V_{y4} = V_4 - V_{к4} = 11,917 - 4,233 = 7,683 \text{ м}^3$$

$$\omega_4 = \frac{V_{ол4}}{V_{к4}} = \frac{1,3}{4,233} = 0,307 \text{ год}^{-1}$$

5. Розрахунок п'ятої секції.

Масові та об'ємні кількості компонентів завантаження наведено у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 - кількості компонентів завантаження в п'яту секцію

Компоненти	Кількість	
	кг/год	м <sup>3</sup> /год
$\text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8$	66	0,109
$\text{C}_4\text{H}_8$	839	1,307
ізо- $\text{C}_4\text{H}_{10}$ (свіжий)	1103	1,917
ізо- $\text{C}_4\text{H}_{10}$ (відпрацьований)	234+234+234+234	1,627
ізо- $\text{C}_4\text{H}_{10}$ (рециркулянт)	8300	14,428
н- $\text{C}_4\text{H}_{10}$	953+953+953+953+953	8,008
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	39+39+39+39+39	0,304
Алкилат ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )	1708+1708+1708+1708	9,555
Сума	23040	37,255

Відношення об'ємів каталізатора і вуглеводнів у п'ятій секції:

$$\alpha_5 = \frac{G_{к}}{\Sigma G_5} = \frac{43910}{23040} = 1,906$$

$$G_{ал5} = G_{\text{C}_4\text{H}_8} + G_{\text{C}_4\text{H}_8} \frac{M_i}{M_0} = 839 + 839 \frac{58}{56} = 1708 \text{ кг/год}$$

$$G_{io5} = G_{свіж.} - G_{C_4H_8} \frac{M_i}{M_0} = 1103 - 839 \frac{58}{56} = 234 \text{ кг/год}$$

$$Q_5 = \frac{G_{ал5} q_p}{0,8} = \frac{1708 \cdot 1050}{0,8} = 2,242 \cdot 10^6 \text{ кДж/год}$$

$$V_{5ізо-C_4H_{10}} = \frac{Q_5 - \frac{G_{C_3H_6}}{M_{C_3H_6}} r_{C_3H_6} - \frac{G_{C_3H_8}}{M_{C_3H_8}} r_{C_3H_8}}{r_{ізо-C_4H_{10}}} = \frac{2.242 \cdot 10^6 - \frac{18}{42} 15600 - \frac{48}{44} 16200}{20400} = 109, \text{ кмоль/год}$$

або

$$V_{5ізо-C_4H_{10}} = V_{5ізо-C_4H_{10}} M_i = 109 \cdot 58 = 6304 \text{ кг/год}$$

$$V_{p5} = 17 \text{ м}^3$$

$$V_5 = \varphi V_{p5} = 0,7 \cdot 17 = 11,917 \text{ м}^3$$

$$\tau_5 = \frac{60 V_5}{R_5} = \frac{60 \cdot 11,917}{37,255} = 11,649 \text{ хв}$$

$$V_{к5} = \frac{R_{к5} \tau_5}{60} = \frac{24,124 \cdot 11,649}{60} = 4,684 \text{ м}^3$$

$$V_{y5} = V_5 - V_{к5} = 11,917 - 4,684 = 7,233 \text{ м}^3$$

$$\omega_5 = \frac{V_{ол5}}{V_{к5}} = \frac{1,3}{4,684} = 0,278 \text{ год}^{-1}$$

#### 6. Матеріальний баланс реактора.

На основі зробленого вище посекційного розрахунку реактора можна скласти його загальний матеріальний баланс (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Матеріальний баланс реактора

Потоки	Витрати потоку по секціям, кг/год					Сума по реактору, кг/год
	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
Прихід						
$C_3H_6 + C_3H_8$	66	66	66	66	66	330
$C_4H_8$	839	839	839	839	839	4195
ізо- $C_4H_{10}$ (свіжий)	1103	1103	1103	1103	1103	5515
ізо- $C_4H_{10}$ (відпрацьований)	—	234	468	702	936	—
ізо- $C_4H_{10}$ (рециркулянт)	33590	27270	20940	14620	8300	33590

## Продовження таблиці 4.11

1	2	3	4	5	6	7
н-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub>	953	1906	2859	3812	4765	4765
С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub>	39	78	117	156	195	195
Каталізатор	43910	43910	43910	43910	43910	43910
Сума	80500	75406	70302	65208	60114	92500
Вихід						
С <sub>3</sub> Н <sub>6</sub> + С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> (пар)	66	66	66	66	66	330
ізо-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> (відпрацьований)	234	468	702	936	1170	1170
ізо-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> (рециркулят)	27270	20940	14620	8300	1978	1978
ізо-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> (випарений)	6304	6304	6304	6304	6304	31520
н-С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub>	953	1906	2859	3812	4765	4765
С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub>	39	78	117	156	195	195
Алкилат	1708	3416	5124	6832	8540	8540
Каталізатор	43910	43910	43910	43910	43910	43910
Сума	80500	75406	70302	65208	60114	92500

## 7. Розміри реактора.

Об'єм відстійної зони реактора.

В цій зоні відбувається розділення вуглеводнів і сірчаної кислоти, що виходять із п'ятої секції реактора.

Знаючи масові витрати рідких компонентів, що виходять з п'ятої секції, та їх густину, знайдемо об'ємні витрати суміші. Вона складає  $R_{m5} = 60,921 \text{ м}^3/\text{год}$ . Приймаємо час відстою  $\tau_o = 60 \text{ хв}$  і степінь заповнення  $\varphi = 0,7$ , знайдемо об'єм зони відстою,  $\text{м}^3$ :

$$V_{po} = \frac{R_{m5} \tau_o}{60 \varphi} = \frac{60,921 \cdot 60}{60 \cdot 0,7} = 87$$

Тоді довжина зони, м:

$$L_o = \frac{4V_{po}}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 87}{3,14 \cdot 3,4^2} = 9,6$$

Об'єм реактора.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		

Знайдемо загальну довжину циліндричної частини реактора, м:

$$L_{\text{ц}} = L_p + L_o = 10 + 9,6 = 19,6$$

де  $L_p = Nl = 5 \cdot 2 = 10$  м – довжина реакційної зони.

Об'єм циліндричної частини реактора (практично рівний його об'єму), м<sup>3</sup>:

$$V_p = \frac{\pi D^2}{4} L_{\text{ц}} = \frac{3,14 \cdot 3,4^2}{4} 19,6 = 178$$

Прийmemo діаметр мішалки, м:

$$d_m = 0,3l = 0,3 \cdot 2 = 0,6$$

Висота розташування мішалки, м:

$$h_m = 0,5d_m = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3$$

Глибина занурення мішалки, м:

$$H_o = 0,7D - h_m - h = 0,7 \cdot 3,4 - 0,3 - 0,11 = 1,97$$

де  $h=0,11$  м – висота сегментної стрілки під перегородкою.

Число лопаток мішалки  $n=3$ .

Довжина направляючих труб, м:

$$l_{\text{тр}} = 1,5d_m = 1,5 \cdot 0,6 = 0,9$$

Кількість труб конструктивно прийmemo рівним 8.

Для відводу парів прийmemo в верхній частині перемішувала 24 отвори діаметром 0,05 м. Для відводу суміші реагуючих компонентів в нижній частині перемішувала прийmemo 9 овальних отворів шириною 0,1 м і довжиною 0,3 м.

#### 4.2.2 Розрахунок потужності двигуна

Мета: визначити потужність двигуна для пропелерної мішалки.

Розрахункова схема двигуна для пропелерної мішалки зображена на рисунку 4.8.

Потужність двигуна розраховуємо за методикою [13].

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

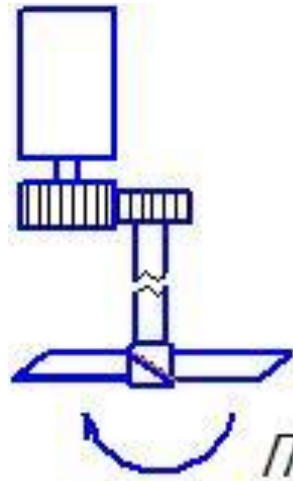


Рисунок 4.8 – Розрахункова схема двигуна для пропелерної мішалки

Вихідні дані:

діаметр апарата $D$ , м	2;
висота апарата $H$ , м	3,4;
частота обертів мішалки $n$ , $\text{с}^{-1}$	7;
густина реакційної суміші $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	642;
коефіцієнт динамічної в'язкості реакційної суміші $\mu$ , $\text{Па}\cdot\text{с}$	$7,35 \cdot 10^{-6}$ ;
діаметр мішалки $d$ , м	0,6.

Визначаємо режим перемішування:

$$Re_{\text{ц}} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu} = \frac{642 \cdot 7 \cdot 0,6^2}{7,35 \cdot 10^{-6}} = 2,201 \cdot 10^8$$

Режим турбулентний

Значення критерія потужності для якірної мішалки дорівнює  $K_N = 0,9$

Розраховуємо потужність, яка використовується мішалкою при установленому режимі:

$$N_P = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 = 0,9 \cdot 642 \cdot 7^3 \cdot 0,6^5 = 15410 \text{ Вт.}$$

Потужність у пусковий момент зазвичай у 2 – 3 рази перевищує робочу, тому вона буде дорівнювати:

$$N_{\text{пуск}} = 2 \cdot N_P = 2 \cdot 15410 = 30820 \text{ Вт.}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

Визначаємо установочну потужність, приймаючи ККД електродвигуна з передачею 0,95 та запасом потужності в 20%:

$$N_{\text{уст}} = N_{\text{пуск}} \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 244,872 \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 35140 \text{ Вт.}$$

Із запасом приймаємо  $N=37$  кВт.

Висновок: приймаємо двигун МТН 512-8 потужністю 37 кВт.

#### 4.2.3 Розрахунок товщини еліптичного днища з умов міцності.

Метою розрахунку є визначення товщини еліптичного днища та розрахунок її на міцність.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.9.

Вихідні дані:

Діаметр апарата  $D$ , м 3,4;

Допустиме напруження матеріалу кришки за розрахункової температури  $[\sigma]$ , МПа 185;

Робочий тиск у кожусі апарата, МПа,  $p$  0,2;

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва,  $\phi$  0,9.

Розрахунок ведемо по методиці наведених в [16].

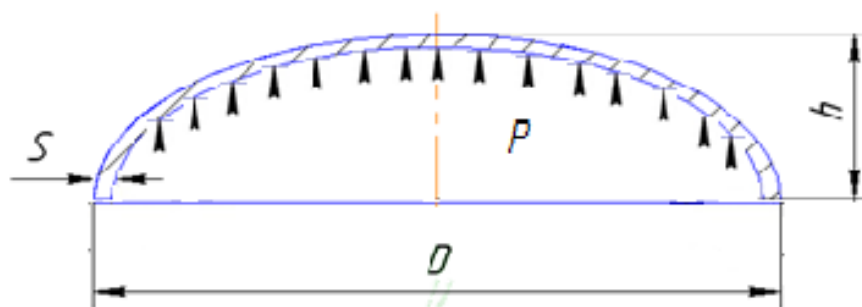


Рисунок 4.9 – Еліптичне днище

Розраховуємо стандартне еліптичне днище з висотою:

$$h_{\text{в}} = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 3,4 = 0,85 \text{ м.}$$

Внутрішній радіус кривизни у вершині кришки або днища  $R_e$ :

$$R_e = \frac{D^2}{4 \cdot h_b} = \frac{3,4^2}{4 \cdot 0,85} = 3,4 \text{ , м.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки або днища  $S_{\partial R}$ :

$$S_{\partial R} = \frac{p \cdot R_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p} = \frac{0,2 \cdot 3,4}{2 \cdot 185 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,2} = 2,043 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії приймаємо  $C_e = 0$  через те, що рух рідини не перевищує 20 м/с.

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії приймаємо  $C_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ , тому що відомо, що у робочих умовах, елемент який розраховується, стійкий до середовища що його оточує.

Виконавча товщина стінки кришки або днища у першому наближенні  $S_{\partial}^1$ :

$$S_{\partial}^1 = S_{\partial R} + C_1 + C_0 = 2,043 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 0,57 \cdot 10^{-4} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

де  $C_0 = 0,57 \cdot 10^{-4}$  обираємо через те, що найближча товщина листового прокату становить  $4,1 \cdot 10^{-3}$  м.

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску листового гарячекатаного прокату  $C_2 = 4 \cdot 10^{-4}$  м.

Технологічний додаток до розрахункової товщини приймаємо  $C_3 = 0$  м так як у нашому випадку не має місця стоншення стінки елемента.

Сума додатків до розрахункової товщини  $C$ :

$$\frac{C_2 + C_3}{S_{\partial}^1} = \frac{4 \cdot 10^{-4} + 0}{4,1 \cdot 10^{-3}} = 0,098 > 0,05 \text{ , тому}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки кришки або днища  $S_{\partial}$ :

$$S_{\partial} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} + C + C_0 = \frac{0,2 \cdot 3,4}{2 \cdot 185 - 0,2} + 2,4 \cdot 10^{-3} + 0,61 \cdot 10^{-4} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Перевіряємо умову застосування формули:

$$0,8 \cdot \sqrt{D \cdot (S_{\partial} - C)} = 0,8 \cdot \sqrt{3,4 \cdot (4,3 - 2,4)} = 0,064 \leq h_b = 0,85 \text{ м.}$$

Перерахунок додатка до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску. Приймаємо  $C_2 = 5 \cdot 10^{-4}$  м.

Перерахунок суми додатків до розрахункової товщини  $C$ :

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 80
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піліпис	Лат		



$$\frac{C_2+C_3}{S_d} = \frac{5 \cdot 10^{-3} + 0}{4,3 \cdot 10^{-3}} = 0,116 > 0,05, \text{ тому}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} + 0 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Перевірка застосування розрахункових формул:

$$0,002 \leq \frac{S_d - C}{D} = \frac{4,3 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-3}}{3,4} = 5,294 \cdot 10^{-4} \leq 0,1$$

Так як умова не виконується збільшуємо товщину  $S_d = 10 \cdot 10^{-3}$  м.

Приймаємо  $C_2 = 10 \cdot 10^{-4}$  м.

Сума додатків до розрахункової товщини  $C$ :

$$\frac{C_2+C_3}{S_d} = \frac{10 \cdot 10^{-4} + 0}{10 \cdot 10^{-3}} = 0,053 > 0,05 \text{ тому}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-4} + 0 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Перевірка застосування розрахункових формул:

$$0,002 \leq \frac{S_d - C}{D} = \frac{10 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}}{3,4} = 2,059 \cdot 10^{-3} \leq 0,1$$

$$0,2 \leq \frac{h_B}{D} = \frac{0,85}{3,4} = 0,25 \leq 0,5.$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск  $[p]$ :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S_d - C)}{R_e + 0,5 \cdot (S_d - C)} = \frac{2 \cdot 185 \cdot 0,9 \cdot (10 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3})}{3,4 + 0,5 \cdot (10 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3})} = 0,685 \geq p = 0,3 \text{ МПа.}$$

Висновки: Умова міцності виконується приймаємо товщину стінки 10 мм, яка задовольняє умовам роботи апарата.

#### 4.2.4 Розрахунок товщини циліндричної обичайки з умови міцності за безмоментною теорією у випадку, коли обичайка навантажена внутрішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини обичайки та розрахунок її на міцність.

Розрахункова схема зображена на рис 4.10.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

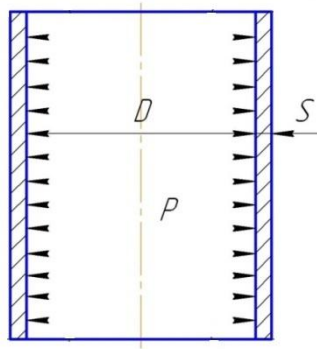


Рисунок 4.10 – Обичайка

Вихідні дані:

Діаметр апарата  $D$ , м 3,4;

Допустиме напруження матеріалу кришки (днища)  
за розрахункової температури  $[\sigma]$ , МПа 185;

Робочий тиск у кожусі апарата, МПа,  $p$  0,2;

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва  $\phi$  0,9.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [16].

Допустиме напруження матеріалу обичайки за розрахункової температури  $[\sigma]$ .

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури  $t=20^\circ\text{C}$  допустиме  $[\sigma]=185$  МПа.

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва  $\phi_p$ .

Для стикового шва з підварюванням кореня, що виконується вручну, коли довжина контрольованих зварних швів становить 100% від загальної довжини  $\phi_p=0,9$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки  $S_R$ :

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,2 \cdot 3,4}{2 \cdot 185 \cdot 0,9 - 0,2} = 2,043 \cdot 10^{-3}, \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії приймаємо  $C_e=0$  через те, що рух пари не перевищує 100 м/с.

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії  $C_1 = 2 \cdot 10^{-3}$  м.

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні  $S^1$ :

$$S^1 = S_R + C_1 + C_0 = 2,043 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 0,57 \cdot 10^{-4} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску  $C_2$ :

Граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного  $4 \cdot 10^{-3}$  м нормальної точності при його ширині від 1500 до 2000 включно становить  $4 \cdot 10^{-4}$  м, тобто  $C_2 = 4 \cdot 10^{-4}$  м.

Технологічний додаток до розрахункової товщини  $C_3=0$  м, так як у нашому випадку не має місця стоншення стінки елемента.

Відношення суми додатків  $C_2$  і  $C_3$  до товщини  $S^1$ :

$$\frac{C_2 + C_3}{S^1} = \frac{4 \cdot 10^{-4} + 0}{4,1 \cdot 10^{-3}} = 0,098$$

Сума додатків розрахункової товщини  $C$ :

$$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S^1} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S^1} > 0,05. \end{cases}$$

$$\frac{C_2 + C_3}{S^1} > 0,05, \text{ тому}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки  $S$ :

$$S = S_R + C + C_0 = 2,043 \cdot 10^{-3} + 2,4 \cdot 10^{-3} + 0,57 \cdot 10^{-4} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Обираємо  $C_0 = 3,02 \cdot 10^{-4}$  м з урахуванням можливих додаткових навантажень під час транспортування, монтажу і т.ін.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Перерахунок додатка до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску  $C_2$  (виконується коли  $S \neq S^1$ ).

Граничне відхилення по товщині прокату листового гарячекатаного  $4,5 \cdot 10^{-3}$  м нормальної точності при його ширині від 1500 до 2000 мм включно становить  $5 \cdot 10^{-4}$  м, тобто  $C_2 = 5 \cdot 10^{-4}$  м.

Відношення суми додатків  $C_2$  та  $C_3$  до товщини  $S$  (виконується коли  $S \neq S^1$ ):

$$\frac{C_2 + C_3}{S} = \frac{5 \cdot 10^{-4} + 0}{4,5 \cdot 10^{-3}} = 0,111$$

Перерахунок суми додатків до розрахункової товщини  $C$  (виконується коли  $S \neq S^1$ ):

$$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S^1} \leq 0,05; \\ C_1 + C_2 + C_3, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S^1} > 0,05. \end{cases}$$

$$\frac{C_2 + C_3}{S^1} > 0,05, \text{ тому}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}}{3,4} = 5,882 \cdot 10^{-4} < 0,1$$

$$S = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м} \geq \frac{D}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = \frac{3,4}{1000} + 2,5 \cdot 10^{-3} = 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск  $[p]$ .

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 185 \cdot 1 \cdot (10 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4})}{3,4 + 10 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}} = 0,733 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності

$$p \leq [p]$$

$$0,2 \text{ МПа} \leq 0,733 \text{ МПа}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

Висновки: Умова міцності виконується приймаємо товщину стінки 10 мм, яка задовольняє умовам роботи апарата.

#### 4.2.5 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета: розрахувати фланцеве з'єднання, болтів фланцевого з'єднання та розрахунок їх на міцність.

Для розрахунку обираємо плоский приварний фланець з гладкою ущільнювальною поверхнею за ОСТ 26-426-79.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.11.

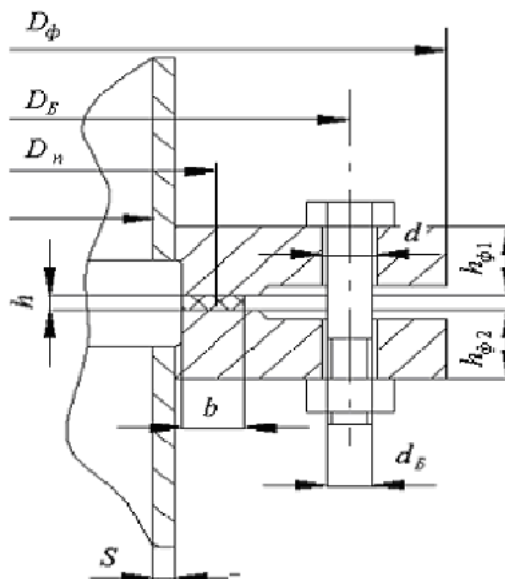


Рисунок 4.11 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [17].

Дані для розрахунку

Внутрішній надлишковий тиск, МПа, $p$	0,2.
Діаметр штуцера, м, $D$	0,25.
Зовнішній діаметр прокладки, м, $D_n$	0,28.
Зовнішній діаметр фланця м, $D_\phi$	0,340.

Діаметр болтового кола, м, $D_B$	0,305.
Товщина фланця, м, $h_{\phi 1}$	0,018.
Товщина фланця, м, $h_{\phi 2}$	0,017.
Товщина стінки штуцера, м, $S_o$	0,008.
Ширина прокладки, м, $b$	0,014.
Товщина прокладки, м, $h$	0,002.
Коефіцієнт, $m$	2,5.
Допустиме питоме навантаження зминання, МПа, $[q]$	130.
Мінімальний тиск, МПа, $q$	20.
Модуль пружності, МПа, $E_{\pi}$	2000.
Допустиме напруження матеріалу фланців (12X18H10T за ГОСТ 5632–72) при температурі 20°C, МПа, $[\sigma_{\phi 1}]^{20}, [\sigma_{\phi 2}]^{20}$	185.
Допустиме напруження матеріалу фланців (12X18H10T за ГОСТ 5632–72К) при температурі 10°C, МПа, $[\sigma_{\phi 1}]^t, [\sigma_{\phi 2}]^t$	189.
Модуль пружності матеріалу фланців (12X18H10T за ГОСТ 5632–72) при температурі 20°C, МПа, $E_{\phi 1}^{20}, E_{\phi 2}^{20}$	$1,98 \cdot 10^5$ .
Модуль пружності матеріалу фланців (12X18H10T за ГОСТ 5632–72) при температурі 10°C, МПа, $E_{\phi 1}^t, E_{\phi 2}^t$	$1,98 \cdot 10^5$ .
Коефіцієнт відносного лінійного розширення матеріалу фланців (12X18H10T) при температурі 10°C, $K^{-1}, \alpha_{\phi 1}^t, \alpha_{\phi 2}^t$	$12,4 \cdot 10^{-6}$ .
Кількість болтів, $Z_B$	8.
Зовнішній діаметр різьби болтів, м, $d_B$	0,016.
Внутрішній діаметр різьби болтів, м, $d_o$	0,015.
Допустиме напруження матеріалу болтів (12X18H10T за ГОСТ 5632–72) при температурі 20°C, МПа, $[\sigma_B]^{20}$	185.
Допустиме напруження матеріалу болтів (12X18H10T за ГОСТ 5632–72) при температурі 10°C, МПа, $[\sigma_B]^t$	189.
Модуль пружності матеріалу болтів (12X18H10T	

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		86

за ГОСТ 5632–72) при температурі 10°C, МПа,  $E_B^t$  1.98 · 10<sup>5</sup>.

Коефіцієнт відносного лінійного розширення матеріалу  
фланців (12X18H10T) при температурі 20°C,  $K^{-1}$ ,  $\alpha_6^t$  12,2 · 10<sup>-6</sup>.

Додаток до розрахункових товщин, м, С 0,001.

Коефіцієнт міцності зварних швів,  $\varphi$  1.

Коефіцієнт тертя,  $f_1$  0,1.

#### 1) Розрахунок допоміжних величин

Відношення більшої товщини втулки до меншої приймаємо  $\beta=1$ .

Середній діаметр прокладки, м:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 0,28 - 0,014 = 0,266, \text{ м.}$$

Ефективна ширина прокладки, м:

$$\text{при } b \leq 0,015 \text{ м } b_E = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,014 = 0,007, \text{ м.}$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\Phi} = \frac{D_{\Phi}}{D} = \frac{0,34}{0,25} = 1,36.$$

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,018}{\sqrt{0,25 \cdot 0,008}} = 0,402,$$

$$\lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,017}{\sqrt{0,25 \cdot 0,008}} = 0,38.$$

Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\Phi} = 1,28 \cdot \lg(K_{\Phi}) = 1,28 \cdot \lg(1,36) = 0,171,$$

$$\psi_{2\Phi} = \frac{K_{\Phi} + 1}{K_{\Phi} - 1} = \frac{1,36 + 1}{1,36 - 1} = 6,556.$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу  $S_0$  приймаємо  $\psi_3 = 1$ .

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{S_0} = \frac{0,018}{0,008} = 2,25,$$

$$j_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{S_0} = \frac{0,017}{0,008} = 2,125.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ док.	Піппис	Лат		

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(K_{\phi})) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,36^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,36)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,36^2) \cdot (1,36 - 1)} = 1,77.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\omega_{\phi 1} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = [1 + 0,9 \cdot 0,402 \cdot (1 + 0,171 \cdot 2,25^2)]^{-1} = 0,597,$$

$$\omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,556 \cdot 2,125^2)]^{-1} = 0,623.$$

Кутова піддатливість фланців,  $1/(\text{МН} \cdot \text{м})$ :

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}^t} = \frac{[1 - 0,597 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,402)] \cdot 6,556}{0,018^3 \cdot 1,98 \cdot 10^5} = 1,062,$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}^t} = \frac{[1 - 0,623 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 6,556}{0,017^3 \cdot 1,98 \cdot 10^5} = 1,108.$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання, м:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,018 + 0,017 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,016 = 0,041.$$

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:,  $\text{м/МН}$ :

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,266 \cdot 0,014 \cdot 2000} = 8,548 \cdot 10^{-5}, \text{ м/МН}.$$

Площа поперечного перерізу болта,  $\text{м}^2$ :

$$f_B = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,015^2 = 1,766 \cdot 10^{-4}, \text{ м}.$$

Лінійна піддатливість болтів,  $\text{м/МН}$ :

$$y_B = \frac{L_B}{E_B^t \cdot f_B \cdot Z_B} = \frac{0,041}{1,98 \cdot 10^5 \cdot 1,766 \cdot 10^{-4} \cdot 8} = 1,483 \cdot 10^{-4}, \text{ м/МН}.$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання,  $\text{МН/м}$ :

$$A_{\phi} = [y_{\Pi} + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})]^{-1} = [8,548 \cdot 10^{-5} + 1,483 \cdot 10^{-4} + 0,25 \cdot (1,062 + 1,108) \cdot (0,305 - 0,266)]^{-1} = 46,75, \text{ МН/м}.$$

Параметри жорсткості фланців,  $1/\text{МН}$ :

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_o) = 1,062 \cdot (0,305 - 0,25 - 0,008) = 0,05, \text{ МН/м}.$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_o) = 1,108 \cdot (0,305 - 0,25 - 0,008) = 0,052, \text{ МН/м}.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		



Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 46,75 \cdot 1,483 \cdot 10^{-4} = 0,006931.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [y_B + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})] = 46,75 \cdot [1,483 \cdot 10^{-4} + 0,25 \cdot (0,05 + 0,052) \cdot (0,305 - 0,266)] = 0,053.$$

2) Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

Рівнодіюча внутрішнього тиску, МН:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 0,266^2 \cdot 0,2 = 0,011 \text{ , МН.}$$

Реакція прокладки у робочих умовах, МН:

$$R_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,266 \cdot 0,007 \cdot 2,5 \cdot 0,2 = 0,00585 \text{ , МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання, МН:

$$\gamma \cdot Z_B \cdot E_B^t \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_B^t \cdot t_B) = 0,006931 \cdot 8 \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot (12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 20 - 12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 20) = -2,195 \cdot 10^{-5} < 0, \text{ тому } Q_{t\phi} = 0 \text{ , МН.}$$

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{B1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 0,266 \cdot 0,007 \cdot 20 = 0,117 \text{ ,}$$

$$P''_{B1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_d + P) + 0,00585 = 0,053 \cdot (0,011 + 0,09) + 0,00585 = 0,011 \text{ ,}$$

$$P'''_{B1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot Z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 189 \cdot 8 \cdot 1,766 \cdot 10^{-4} = 0,105 \text{ .}$$

Розрахункове навантаження на болти, МН:

$$p \leq 0,6 \text{ МПа, тому } P_{B1} = \max\{P'_{B1}; P''_{B1}; P'''_{B1}\} = \{0,117; 0,011; 0,105\} = 0,117.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{B1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} = \frac{0,117}{3,14 \cdot 0,266 \cdot 0,014} = 10 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа .}$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов, МН:

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} = 0,117 + (1 - 0,053) \cdot (0,011 + 0,09) + 0 = 0,213 \text{ , МН.}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 89
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

Розрахункове навантаження на болти, МН:

$$P_{Б\phi} = \max\{P_{Б1}; P_{Б2}\} = \{0,117; 0,213\} = 0,213, \text{ МН.}$$

Напруження в болтах за умов монтажу, МПа:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{Б1}}{Z_B \cdot f_B} = \frac{0,117}{8 \cdot 1,766 \cdot 10^{-4}} = 82,798, \text{ МПа.}$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов, МПа:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{Б2}}{Z_B \cdot f_B} = \frac{0,213}{8 \cdot 1,766 \cdot 10^{-4}} = 150,531, \text{ МПа.}$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок, МН·м:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{Б\phi}}{Z_B} \cdot d_B = 0,1 \cdot \frac{0,213}{8} \cdot 0,016 = 4,254 \cdot 10^{-5}, \text{ МН·м.}$$

Дотичне напруження в болтах, МПа:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_o^3} = \frac{4,254 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,015^3} = 63,022, \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах, МПа:

$$\sigma_B^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{82,798^2 + 3 \cdot 63,022^2} = 137,007, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_B^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{150,531^2 + 3 \cdot 63,022^2} = 184,944, \text{ МПа.}$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_B^{20} = 137,007 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^{20} = 185 \text{ МПа};$$

$$\sigma_B^t = 184,944 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^t = 189 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються.

### 3) Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу, МН·м:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{Б1} \cdot (D_B - D_{сп}) = 0,5 \cdot 0,117 \cdot (0,305 - 0,266) = 0,0023, \text{ МН·м.}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов, МН·м:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_B - D_{сп}) + Q_d \cdot (D_{сп} - D - S_o) \cdot \frac{[\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t}] = 0,5 \cdot [0,213 \cdot (0,305 - 0,266) + 0,011 \cdot (0,266 - 0,25 - 0,008) \cdot \frac{189}{185}] = 0,00412, \text{ МН·м.}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця, МН·м:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} = \{0,0069; 0,012\} = 0,00412, \text{ МН·м.}$$

Максимальні напруження в перерізі  $S_o$  фланців від дії вигинаючого моменту  $M_{0\phi}$ , МПа:

$$\sigma_{0\phi 1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 1}}{D^* \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,77 \cdot 0,00412 \cdot 0,597}{0,25 \cdot (0,008 - 0,001)} = 355,735, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{0\phi 2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 2}}{D^* \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,77 \cdot 0,00412 \cdot 0,623}{0,25 \cdot (0,008 - 0,001)} = 371,132, \text{ МПа.}$$

де  $D^* = D = 0,25$  м, якщо  $D = 0,25 \geq 20 \cdot S_o = 20 \cdot 0,008 = 0,16$ .

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту  $M_{0\phi}$ , МПа:

$$\sigma_{\kappa\phi 1} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 1}^2} = \frac{0,00412 \cdot [1 - 0,597 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,402)] \cdot 6,556}{0,25 \cdot 0,018^2} = 62,459, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\kappa\phi 2} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 2}^2} = \frac{0,00412 \cdot [1 - 0,623 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 6,556}{0,25 \cdot 0,017^2} = 61,542, \text{ МПа.}$$

Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску  $p$ :

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,2 \cdot 0,25}{2 \cdot (0,008 - 0,001)} = 3,571,$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,2 \cdot 0,25}{4 \cdot (0,008 - 0,001)} = 1,786.$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців, МПа:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}} =$$

$$\sqrt{(355,735 + 1,786)^2 + 3,571^2 - (355,735 + 1,786) \cdot 3,571} = 355,748, \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2}) \cdot \sigma_{x\phi 2}} =$$

$$\sqrt{(371,132 + 1,786)^2 + 3,571^2 - (371,132 + 1,786) \cdot 3,571} = 371,145, \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$[\sigma_{\phi 1}^{S_o}] = [\sigma_{\phi 2}^{S_o}] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t = 0,003 \cdot E_{\phi 2}^t = 0,003 \cdot 1,98 \cdot 10^5 = 594, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{E\phi 1} = 355,748 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_o}] \cdot \varphi = 1 \cdot 594 = 594 \text{ МПа}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$\sigma_{\text{Еф2}} = 371,145 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{ф2}}^{S_o}] \cdot \varphi = 1 \cdot 594 = 594 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються

Умови герметичності:

При  $D = 0,25 \leq 2_m [\theta] = 0,009$  рад

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} \cdot D}{E_{\text{ф1}}^t \cdot h_{\text{ф1}}} = \frac{62,459 \cdot 0,25}{1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,018} = 4,381 \cdot 10^{-3} < [\theta] = 0,009$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф2}} \cdot D}{E_{\text{ф2}}^t \cdot h_{\text{ф2}}} = \frac{61,542 \cdot 0,25}{1,98 \cdot 10^5 \cdot 0,017} = 4,571 \cdot 10^{-3} < [\theta] = 0,009$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: обраний плоский приварний фланець з гладкою ущільнювальною поверхнею за ОСТ 26-426-79 діаметром  $D_{\text{ф}} = 0,34$  м та висотою  $h_{\text{ф}} = 0,018$  м задовольняє умовам використання реактора.

#### 4.2.6 Розрахунок опорних зусиль, що діють на реактор

Мета: розрахувати опорні зусилля, що діють на горизонтальний реактор.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.12.

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [18].

Дані для розрахунку:

Діаметр апарата, м, D	3,4.
Висота еліптичного днища, м, H	0,85.
Довжина обичайки, м, L	19,6.
Вага завантаженого апарата, МН, G	0,953.
Навантаження на опору, МН, Q	0,63.
Кут між кінцями підкладного листа, $\delta$	140°.
Кількість опор, n	3
Відстань між опорами, l	6,45.
Товщина обичайки, м, S	0,01.
Додаток до розрахункових товщин, м, C	0,002.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		

Допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$	186.
Робочий тиск у апараті, МПа, $p$	0,2.
Модуль пружності матеріалу, МПа, $E$	$1,98 \cdot 10^5$ .
Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi$	0,9.

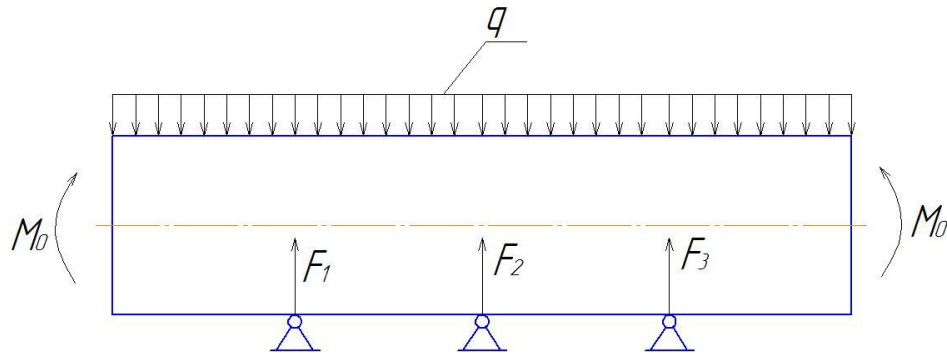


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема для визначення опорних зусиль

Розрахункові формули справедливі за наступних умов:

$$60^\circ \leq \delta = 140^\circ \leq 180^\circ,$$

$$(S - C)/D = 0,0024 \leq 0,05.$$

Умови виконуються.

Навантаження балки:

$$q = \frac{Q}{L + \frac{4}{3}H} = \frac{0,63}{19,6 + \frac{4}{3}0,85} = 0,03 \text{ МН/м}$$

$$M_0 = \frac{qD^2}{4} = \frac{0,03 \cdot 3,4^2}{4} = 0,088 \text{ МНм}$$

Опорні зусилля, МН:

$$F_i = \psi_i \frac{G}{n},$$

де  $\psi_i$  визначається за графіком наведеним у [14]. Для  $n=3$ ,  $\psi_1 = \psi_3 = 1,1$ ,  $\psi_2 = 0,9$ , тоді:

$$F_1 = F_3 = \psi_1 \frac{G}{n} = 1,1 \frac{0,953}{3} = 0,35$$

$$F_2 = \psi_2 \frac{G}{n} = 0,9 \frac{0,953}{3} = 0,286$$

$$F_i = \max\{F_1; F_2\} = \max\{0,35; 0,286\} = 0,35$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

Розрахунок максимального опорного моменту між опорами ведеться тоді, якщо опор 2. Якщо їх 3 і більше, то розраховується лише момент над опорою, МНм:

$$M_i = \frac{ql^2}{8} = \frac{0,03 \cdot 6,45^2}{8} = 0,156$$

Поперечне зусилля в перерізі обичайки над опорою, МН:

$$Q_i = 0,5F_i = 0,5 \cdot 0,35 = 0,175$$

Умова міцності:

$$\frac{pD}{4(S-C)} + \frac{4M_i K_9}{\pi D^2 (S-C)} \leq [\sigma] \varphi$$

$$\frac{0,2 \cdot 3,4}{4(0,01 - 0,002)} + \frac{4 \cdot 0,156 \cdot 1,4}{3,14 \cdot 3,4^2 (0,01 - 0,002)} = 24,258 < 186 \cdot 0,9 = 167,4$$

де  $K_9 = 1,4$  – коефіцієнт, що враховує часткове заповнення рідиною (визначається за графіком наведеним у [18]).

Умова міцності виконується.

Умова стійкості:

$$\frac{M_i}{[M]} \leq 1,$$

де  $[M]$  – допустимий вигинаючий момент [МНм], визначається за наступною формулою:

$$[M] = \frac{[M]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_M}{[M]_E}\right)^2}} = \frac{13,535}{\sqrt{1 + \left(\frac{13,535}{7,75}\right)^2}} = 6,726$$

де допустимий вигинаючий момент за умов міцності, МНм:

$$[M]_M = \frac{\pi}{4} D(D + S - C)(S - C)[\sigma] =$$

$$= \frac{3,14}{4} 3,4(3,4 + 0,01 - 0,002)(0,01 - 0,002)186 = 13,535$$

а допустимий вигинаючий момент за умов стійкості в межах пружності, МНм:

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{2,4} D^3 \left[ \frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 1,98 \cdot 10^5}{2,4} 3,4^3 \left[ \frac{100(0,01 - 0,002)}{3,4} \right]^{2,5} = 7,75$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

$$\frac{0,156}{6,726} = 0,023 < 1$$

Умова стійкості виконується.

Висновок: умови міцності та стійкості виконуються, кількість опор  $n=3$  достатньо, щоб витримати опорні зусилля, що діють на горизонтальний реактор.

#### 4.2.7 Розрахунок діаметра штуцерів

Мета розрахунку: розрахувати діаметр штуцерів за заданої швидкості руху для холодоагенту та реакційної суміші, та визначити швидкості їх руху для вибраних діаметрів штуцерів.

Розрахункова схема штуцерів показана на рисунку 4.13.

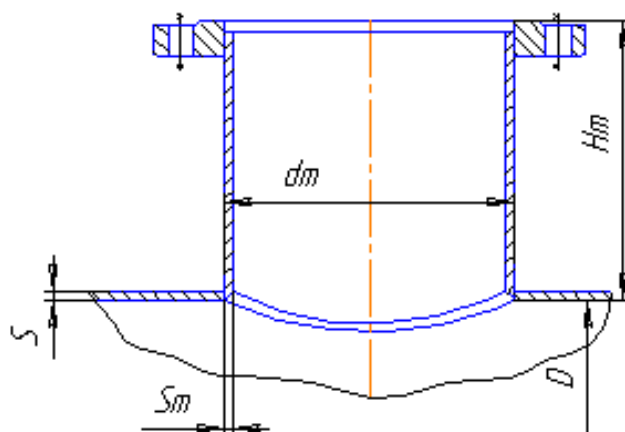


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема штуцерів

Вихідні дані:

Густина сировини $\rho_{cm}$ , кг/м <sup>3</sup>	642;
Масові витрати сировини $G_{cm}$ , кг/с	4,17;
Швидкість руху сировини $\omega_{cm}$ , м/с	1;
Густина сірчаної кислоти $\rho_{pc}$ , кг/м <sup>3</sup>	1820;
Масові витрати сірчаної кислоти $G_{pc}$ , кг/с	12,2;
Швидкість руху сірчаної кислоти $\omega_{pc}$ , м/с	0,5.

Розрахунок штуцерів здійснено за методикою, наведеною у літературі [13].

Для розрахунку діаметрів штуцерів приймаємо значення для швидкостей потоку із рекомендованого діапазону для рідини та газів [14].

Програма розрахунку діаметрів штуцерів, блок-схема розрахунку та таблиця ідентифікаторів у додатку Г.

Вхід розчину:

$$d_{\text{см}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{см}}}{\pi \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \omega_{\text{см}}}}, \text{ м.} \quad (4.1)$$

Дійсна швидкість реакційної суміші:

$$\omega_{\text{д}} = \frac{4 \cdot G_{\text{см}}}{\pi \cdot \rho_{\text{см}} \cdot d_{\text{вн}}^2}, \text{ м/с.} \quad (4.2)$$

Вихід розчину:

$$d_{\text{рс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{рс}}}{\pi \cdot \rho_{\text{рс}} \cdot \omega_{\text{рс}}}}, \text{ м.} \quad (4.3)$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{д}} = \frac{4 \cdot G_{\text{рс}}}{\pi \cdot \rho_{\text{рс}} \cdot d_{\text{вн}}^2}, \text{ м/с.} \quad (4.4)$$

Висновок: в результаті проведеного розрахунку були визначені діаметри патрубків штуцерів для входу і виходу компонентів реакційної суміші і визначено їх основні розміри:  $d_{\text{вн1}} = 0,15 \text{ м}$ ,  $d_{\text{вн2}} = 0,25 \text{ м}$ .



## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Згідно закону про охорону праці України на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі і безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками [19].

Технічне завдання магістерської дисертації на тему «Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника» передбачає розрахунок і проектування реактора та теплообмінника установки алкілювання. Контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор лінії, пульт якого знаходиться у виробничому приміщенні  $S = 148 \text{ м}^2$ ,  $V = 1036 \text{ м}^3$ .

Виконання правил техніки безпеки є основною умовою зниження виробничого травматизму. Усі працівники ознайомлені з правилами і інструкціями з техніки безпеки і виробничої санітарії.

Інструкції з техніки безпеки повинні знаходитися на робочих місцях, плакати, що ілюструють методи безпечного виконання робіт вивішуються на місцях доступних для огляду.

На основі вище викладеного для проектованої установки алкілювання, визначимо шкідливі і небезпечні ділянки виробництва та розробимо міри їх попередження та ліквідації.

При всіх умовах проектування або експлуатації установки сірчаноокислого алкілювання потрібно забезпечити гігієнічні і безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

В цеху призначеному для алкілювання шкідливими і небезпечними виробничими факторами є:

- повітря робочої зони;
- враження електричним струмом;
- вплив високих температур;

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 97
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

- виробниче освітлення;
- пожежна небезпека та вибухонебезпека;
- надзвичайні ситуації.

### 5.1 Повітря робочої зони

Під час процесу алкилювання утворюються гази, які по трубах транспортуються до сепаратора і розділяються на окремі компоненти для повторного використання. Таким чином гази не контактують з навколишнім середовищем.

З метою нормалізації повітря в приміщенні передбачено герметизацію технологічного устаткування.

У зоні роботи операторів забезпечується чисте повітря і нормальні метеорологічні умови для здорової і високопродуктивної праці. Для цього передбачається кондиціонування повітря, а метеорологічні умови нормуються згідно санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99.

У зоні роботи операторів передбачається кондиціонування повітря.

Ефективність роботи вентиляційної системи відповідає вимогам СНиП 2.04.05-91 “Отопление, вентиляция и кондиционирование”. Норми мікроклімату виконуються згідно зі ДСН 3.3.6.042-99. В цеху є відповідна контрольна та вимірвальна апаратура. Кінцеві вимикачі обмежують недопустиме витікання забрудненого середовища.

Кожного року потрібно проводити аеродинамічні випробування вентиляційних систем, а також після капітального ремонту або реконструкції згідно з ГОСТ 12.3.018-79.

Обслуговуючий персонал забезпечений киснево-ізолюючими приладами типу “СТОСІВ-8” і фільтруючими протигазами марки “А” і “БКФ” на випадок аварійних ситуацій.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 98
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

## 5.2 Враження електричним струмом

Приміщення операторної по ступеню враження електричним струмом відноситься до I класу (тобто без підвищеної небезпеки) згідно ПУЕ. Блок виробництва базових компонентів бензину використовує електричне устаткування, що живиться від 3-х фазної 4-х провідної електричної мережі перемінного струму з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В, частота 50 Гц.

Основними причинами враження електричним струмом є дотик до відкритих струмопровідних елементів устаткування, що виявилось під напругою внаслідок порушення ізоляції.

Основними заходами від ураження електричним струмом є:

- гумова ізоляція струмопровідних частин пульта керування ( $\geq 0,5$  МОм);
- електророзділення мережі за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів;
- рубильники увімкнення замкнені в спеціальних шафах;
- недоступність струмопровідних частин на ділянці забезпечується огороженням і ізоляцією;
- елементарна мережа має спеціальне позначення (забарвленням фаз в різні кольори, різне забарвлення силового і допоміжного устаткування, покажчики небезпечних для життя місць);
- використання щитків, спеціальних знаків небезпеки, які попереджують людей про наявність високої температури, можливості поразки електричним струмом і таке інше (кожній з небезпек відповідає свій попереджувальний знак);
- для переносних інструментів застосовується напруга 42 В, для світильників – 12 В.
- при роботі з електроінструментом, потрібно застосовувати індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки;

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ док.	Піппис	Лат		

- при проведенні ремонтних робіт вимкнути електричну мережу, на щитах розміщувати спеціальні таблички та попереджувальні знаки («Обережно працюють люди», «Не вмикати, ідуть ремонтні роботи» і таке інше);

- перед роботою провести інструктаж з правил техніки безпеки на виробництві.

В аварійному режимі застосовується пристрій занулення і захисне автовідключення, відповідно до ГОСТ 12.1.030-81/91.

### **5.3 Вплив високих температур**

Причинами травм може бути дотик людей до нагрітих поверхонь. Температура реакції алкілування не перевищує 30 °C, тому установка не потребує додаткового ізолювання.

### **5.4 Виробниче освітлення**

Виробничі приміщення забезпечуються робочим та аварійним освітленням. Приміщення, в яких постійно перебувають робітники, повинні мати комбінований тип освітлення: природне та штучне.

Природне освітлення в приміщенні бокове одностороннє. Відбувається через вікна, розміщених в одній із зовнішніх стін приміщення.

Штучне освітлення в приміщенні загальне рівномірне, при цьому світильники розміщені в верхній зоні приміщення таким чином, щоб було забезпечене необхідне рівномірне освітлення робочої зони, безпечне та надійне їх закріплення та зручність обслуговування.

Для внутрішнього освітлення апаратів під час їх огляду і ремонту необхідно використовувати переносні світильники у вибухозахисному виконанні напругою не більше 12 В, захищені металевою сіткою.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпс	Лат		

Аварійне освітлення має забезпечувати можливість спостереження за роботою установки під час раптового відключення робочого освітлення.

Для потрібної величини фактичного освітлення використовують галогенні лампи КТГГД-1500 потужністю 1500 Вт з потоком 33000 лм і величиною освітлення до 350 люкс.

Освітленість робочого місця відповідає вимогам ДБНВ 2,5-28-2006.

### **5.5 Пожежна небезпека та вибухонебезпека**

Приміщення відноситься до категорії А згідно ОНТП 24-86. У блоці виробництва базових компонентів бензину присутні вибухопожежонебезпечні речовини, а саме легкозаймисті рідини, що у певній кількості можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, в результаті чого при спалахуванні може статися вибух.

Причинами пожеж є коротке замикання, обрив проводки, порушення електроізоляції.

Заходи від спалахування забезпечуються наступним чином:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження у використанні відкритого вогню;
- паління тільки у відведених для цього місцях;
- провести інструктаж з правил техніки безпеки на виробництві;
- організація агітації по протипожежній безпеці;
- наявність засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявність засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установок (пісок, ковдри, вогнегасники).

Захист від вибуху забезпечується:

- робочою вентиляцією;
- аварійною вентиляцією, в десятикратному об'ємі повітрообміну від

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

загального об'єму робочого приміщення.

Заходи безпеки при пожежі:

- система оповіщення;
- система пінного пожежогасіння;
- система протипожежного водопроводу;
- первинні засоби пожежогасіння (пісок, ковдри, вогнегасники).

Протипожежний водопровід забезпечує роботу зрошувальних систем колонних апаратів і резервуарів з підключенням для пересувної пожежної техніки.

Для гасіння невеликих ділянок загоряння при вимкненому електроустаткуванні використовують вуглекисневі вогнегасники ОУ-5 (3 шт.) і пінні вогнегасники ОХП-10 (3 шт.). Для гасіння увімкнених електромереж використовують порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.).

Вимоги пожежної безпеки відповідають ГОСТ 12.1.004-87, а вимоги вибухонебезпеки відповідають ГОСТ 12.1.010-81.

## 5.6 Безпека технологічних процесів і устаткування

Основними причинами аварійної ситуації є:

- Порушення технологічного режиму в результаті відмов у системі автоматизованого керування і регулювання технологічним процесом.
- Раптове припинення подачі сировини, пари, електроенергії, що приводить до перебоїв у роботі технологічного устаткування.
- Розгерметизація технологічного устаткування, арматури, ущільнень у фланцевих з'єднаннях трубопроводів.
- Розряди статичної електрики у вибухонебезпечному середовищі апаратів і трубопроводів.

Проектом передбачений ряд заходів для забезпечення безпечного проведення процесу:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

1. Технологічна схема прийнята з мінімально-можливою кількістю апаратів при забезпеченні необхідної якості товарної продукції.

2. Технологічна система оснащена засобами контролю за технологічними параметрами і сигналізацією при їхньому відхиленні від заданих значень, засобами автоматичного і дистанційного регулювання.

3. Проектом передбачається комплексна автоматизація технологічних процесів з виносом в операторну всіх параметрів, що забезпечують безпечну роботу устаткування.

4. Для захисту апаратури від перевищення тиску проектом передбачені запобіжні клапани, що захищають окремі апарати, чи трубопроводи групи апаратів.

5. Апарати, обслуговування яких зв'язано з перебуванням на висоті, обладнаються промисловими площадками зі східцями, що мають поруч висотою 1 м.

6. Для забезпечення електробезпеки застосовується електроустаткування, що відповідає умовам навколишнього середовища, у тому числі по вибухозахисту; виконується захисне заземлення електроустановок, захист від проявів статичної електрики, захист від блискавок будинків і споруджень. На випадок виникнення аварійної ситуації передбачене відключення електроустаткування з розподіленою системою керування.

7. На випадок виникнення аварійної ситуації обслуговуючий персонал забезпечений киснево-ізолюючими приладами типу “СТОСІВ-8” і фільтруючими протигазами марки “А” і “БКФ”.

### 5.7 Надзвичайні ситуації

1) Приміщення відноситься до категорії А згідно ОНТП 24-86, клас зони – 2. У блоці виробництва базових компонентів бензину присутні вибухопожежонебезпечні речовини, а саме легкозаймисті рідини, що у певній

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 103
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піліпис	Лат		

кількості можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, в результаті чого при спалахуванні може статися вибух.

2) На проектованій установці пожежі і вибухи можливі на наступних ділянках: приміщення насосної та в парках де розташовуються резервуари. Можливі причини загоряння: влучення в повітря робочої зони парів розчинника здатного створювати пожежо- та вибухонебезпечні суміші з киснем повітря, розгерметизація фланців трубопроводів, арматури чи апаратів що може призвести до потрапляння мастила в робочу зону, коротке замикання електроустаткування з ушкодженою ізоляцією. На проектованому виробництві можливі наступні джерела загоряння: електричні іскри, розряди зарядів статичної електрики, прямий удар блискавки у виробниче приміщення, застат високх потенціалів через наземні і підземні комунікації.

3) Забезпечується ступінь вогнестійкості об'єкта II по СНиП 2.01.02-85.

Заходи безпеки при пожежі: система оповіщення; система пінного пожежогасіння; система протипожежного водопроводу; первинні засоби пожежогасіння, до яких відносять вогнегасники, пожежний інвентар ( бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири).

Для гасіння пожежі служать вуглекислотні вогнегасники типу ВП-3(3) у кількості 9 штук, що розташовуються в цеху.

Перша умова проти вибухового захисту - це недопускання утворення такої кількості вибухової суміші, що може спричинити вибух.

Для противибухового захисту передбачена аварійна вентиляція,  $L > 8K$  . Аварійні вентиляція вмикається автоматично при спрацюванні датчиків при досягненні 20% НКМВ в викидах 10% НКМВ.

Для противибухового захисту передбачена аварійна вентиляція, яка вмикається автоматично при спрацюванні датчиків.

Вогнегасники та пожежний інвентар пофарбовані в червоний колір, а на бочки з водою та ящики з піском додатково наносяться відповідні написи білою

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 104
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



фарбою. Пожежний інструмент має чорне пофарбування. На випадок виникнення пожежі у виробничому приміщенні встановлені бочки з водою, які повинні бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8л. Ящики з піском місткістю 0,5, 1,0 та 3,0 м<sup>3</sup> повинні бути укомплектовані совковою лопатою. Протипожежні покривала, повинні бути виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, грубо бавовняної тканини та повинні мати розміри не менш як 2х1м та 2х2 м.

Зовнішнє пожежогасіння виробничого будинку здійснюється від пожежних гідрантів існуючої кільцевої протипожежної мережі.

На заводі мається спеціалізована пожежна команда в розпорядженні якої є необхідна техніка для пожежогасіння.

Для гасіння невеликих вогнищ запалень при вимкненому електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 та пінні ОХП-10. Для гасіння увімкнених електромереж застосовують порошкові вогнегасники з речовинами ОПС-10 і ОППС-100. У цеху на відстані 30м один від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами по 10м.

Відстані до пожежних евакуиходів – 35м, кількість виходів – 3. Ширина прорізу для дверей евакуиходів – 2,5м згідно з СНиП 2.09.02-85.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

## 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів

Розділ розроблено згідно з методикою наведеною в [20]. Монтаж устаткування повинен проводитися відповідно до вимог технічної документації й дійсної інструкції. Виготовлення металевих конструкцій апаратів проводиться по нормативних вимогах заводу – виготовлювача. Перед відправленням на монтаж проводиться контрольна зборка конструкцій. Ціль контрольної зборки полягає в тому, що всі елементи апарату встановлюються у своє проектне положення, з повним припасуванням до місць стикування із сусідніми деталями. Усі деталі маркуються і після цього проводиться розбирання і відправка на місце монтажу.

Монтаж горизонтального реактора алкилювання:

1. перевірити розміри фундаменту в плані по висоті, нахилу, на їх відповідність робочим кресленням фундаменту, наявність реперних планок по поздовжнім та поперечним його осям для можливості правильного встановлення реактора;
2. перевірити відповідність розмірів фундаментних болтів по кресленню та фактичних розмірів заглиблень під фундаментні болти;
3. перевірити гайки по різьбі болтів, при цьому вони повинні бути змащені машинним маслом і легко провертатись від руки;
4. на майданчику підготовки обладнання на дерев'яні бруси встановити реактор, перевірити його стан, видалити бруд та корозію, зняти залишки фарби з нижніх опорних поверхонь;
5. задирки та механічні пошкодження, що не призводить до порушень працездатності реактора, зачистити терпугом;
6. встановити реактор на фундамент, так щоб поперечні риски на опорних плитах, що відмічають розташування їх осей, співпадали з відповідними рисками реперних планок, при цьому реактор повинен спиратись регулювальними

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

гвинтами, на попередньо встановлені фундаментні пластини, що розташовані в районі розташування гвинтів;

7. проводиться перевірка відхилень від осей та відміток в горизонтальному та вертикальному напрямках. Відхилення не повинні перевищувати 20 мм по головним осям, від вертикалі – в межах 3 мм на 1 м висоти, але не більше 35 мм на весь апарат;

8. по завершенні установки й вивірки реактора виконати заливку фундаментних болтів бетонною сумішшю. Рівень бетону не повинен доходити до поверхні фундаменту на 30–40 мм;

9. після затвердіння бетону всі гайки фундаментних болтів затягнути і знову перевірити встановлення реактора. Якщо повторна перевірка підтверджує правильність установки, то виконати остаточну підливку фундаментів плит опор реактора;

10. після підливки фундаментів і затвердіння бетону зняти опалубку, а поверхню фундаменту й опор очистити від решток розчину та бруду;

11. встановити мішалки в реактор;

12. підключення технологічних трубопроводів, комунікацій, електропроводки, заземлення та ін.;

13. встановлення огороження та ін. запобіжних засобів;

14. перевірка роботи апарата на холостому ході.

Монтаж кожухотрубного теплообмінника:

1. перевірити розміри фундаменту в плані по висоті, нахилу, на їх відповідність робочим кресленням фундаменту, наявність реперних планок по поздовжнім та поперечним його осям для можливості правильного встановлення реактора;

2. перевірити відповідність розмірів фундаментних болтів по кресленню та фактичних розмірів заглиблень під фундаментні болти;

3. перевірити гайки по різьбі болтів, при цьому вони повинні бути змащені машинним маслом і легко провертатись від руки;

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

4. на майданчику підготовки обладнання на дерев'яні бруси встановити теплообмінник, перевірити його стан, видалити бруд та корозію, зняти залишки фарби з нижніх опорних поверхонь;

5. задирки та механічні пошкодження, що не призводить до порушень працездатності теплообмінника, зачистити терпугом;

6. встановити теплообмінник на фундамент, так щоб поперечні риси на опорних плитах, що відмічають розташування їх осей, співпадали з відповідними рисками реперних планок, при цьому реактор повинен спиратись регулювальними гвинтами, на попередньо встановлені фундаментні пластини, що розташовані в районі розташування гвинтів;

7. проводиться перевірка відхилень від осей та відміток в горизонтальному та вертикальному напрямках. Відхилення не повинні перевищувати 20 мм по головним осям, від вертикалі – в межах 3 мм на 1 м висоти, але не більше 35 мм на весь апарат;

8. по завершенні установки й вивірки реактора виконати заливку фундаментних болтів бетонною сумішшю. Рівень бетону не повинен доходити до поверхні фундаменту на 30–40 мм;

9. після затвердіння бетону всі гайки фундаментних болтів затягнути і знову перевірити встановлення теплообмінника. Якщо повторна перевірка підтверджує правильність установки, то виконати остаточну підливку фундаментів плит опор теплообмінника;

10. після підливки фундаментів і затвердіння бетону зняти опалубку, а поверхню фундаменту й опор очистити від решток розчину та бруду;

11. встановити розподільчу кришку та днище;

12. підключення технологічних трубопроводів, комунікацій, та ін.;

13. встановлення огороження та ін. запобіжних засобів;

14. перевірка роботи апарата на холостому ході.

Експлуатація горизонтального реактора алкилювання та кожухотрубного теплообмінника:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

1. апарати мають забезпечувати стабільність технологічного процесу, безпечність, безаварійність і надійність при експлуатації й відповідати вимогам виробничої санітарії та гігієни;

2. виробничі приміщення де працюють апарати необхідно оснастити вентиляцією, природнім та штучним світлом;

3. електрообладнання апаратів виконують відповідно до вимог технічної експлуатації електрообладнання і правил технічної безпеки при експлуатації електрообладнання;

4. основні вимоги та необхідні заходи для забезпечення безпечної роботи:

- дотримання інструкції з техніки безпеки, з проведення монтажних та ремонтних робіт та з обслуговування апаратів;
- дотримання графіків планово-профілактичних ремонтів;
- дотримання технологічного режиму виробництва;

5. під час ремонту реактора електропривід мішалки необхідно вимикати. На період ремонтних робіт на пульті управління та приводі необхідно розмістити плакати з попереджувальними написами;

6. у випадку зупинки апаратів необхідно припинити подачу продуктів, а потім відключити живлення. Вивантаження апаратів та їх промивку проводити за інструкцією. При зупинці на тривалий термін апарати необхідно обов'язково розвантажити.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

## 7. Рівень стандартизації та уніфікації

Стандарти використовують для поліпшення якості продукції, підвищення рівня уніфікації і взаємозамінності, розвитку автоматизації виробничих процесів, росту ефективності експлуатації і ремонту виробів.

Уніфікація використовується для раціонального скорочення кількості об'єктів однакового функціонального призначення.

Рівень застосовності горизонтального реактора алкилювання по деталях:

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{1180}{2060} = 0,573,$$

де  $n_c$  - кількість стандартних деталей в апараті,  $n_c = 1180$ ;  $N$  - загальна кількість деталей в апараті,  $N = 2060$ .

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{1180 + 410}{2060} = 0,772,$$

де  $n_z$  - кількість уніфікованих деталей в апараті,  $n_z = 410$ .

Рівень застосовності кожухотрубного теплообмінника по деталях:

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{810}{1370} = 0,591,$$

де  $n_c$  - кількість стандартних деталей в апараті,  $n_c = 810$ ;  $N$  - загальна кількість деталей в апараті,  $N = 1370$ .

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{810 + 260}{1370} = 0,781,$$

де  $n_z$  - кількість уніфікованих деталей в апараті,  $n_z = 260$ .

Висновок: для реактора коефіцієнт стандартизації складає 0,573, коефіцієнт уніфікації складає 0,772; для теплообмінника коефіцієнт стандартизації складає 0,591, коефіцієнт уніфікації складає 0,781.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

## 8. Розробка стартап-проекту

Розділ розроблено за допомогою методик наведених в [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

### 8.1 Опис ідеї проекту

Ідея стартап-проекту полягає в тому, щоб виготовляти теплообмінники з параболічними виступами на зовнішній поверхні труб. Це дасть змогу суттєво зменшити енергозатрати при його використанні і зайняти лідируючі місця у верхньому ціновому сегменті на даному ринку.

Зміст ідеї, можливі напрямки застосування та основні вигоди, що може отримати користувач товару, занесені до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення теплообмінників з параболічними виступами на зовнішній поверхні труб. За рахунок цього буде забезпечено інтенсифікацію процесу теплопередачі із забезпеченням необхідної надійності використання обладнання.	Харчова промисловість	Запропонований теплообмінник забезпечує необхідний режим турбулізації потоку в міжтрубному просторі із одночасним збільшенням площі контакту, що забезпечує інтенсифікацію теплообміну, а отже і ефективність при експлуатації теплообмінного апарату.
	Хімічна промисловість	
	Нафтопереробна промисловість	
	Фармацевтична промисловість	
	Інші галузі промисловості	

Нашими конкурентами є елементні, пластинчасті, з U-подібними трубками, секційні, графітові, зрошувальні, типу «труба в трубі» та спіральні теплообмінники. Перевага запропонованого теплообмінника в тому, що він виконує ті ж самі функції, що й інші, але з меншими енерговитратами.

Порівняльний аналіз показників власної ідеї: гірші значення (W, слабкі), аналогічні (N, нейтральні) значення, кращі значення (S, сильні) наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.1 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
	Модернізований теплообмінник	Пластинчатий теплообмінник	Теплообмінник типу «труба в трубі»	Спиральний теплообмінник			
Новизна	Новий	Не новий	Не новий	Не новий	-	-	+
Ціна	100тис. грн./од.	125тис. грн./од.	110тис. грн./од.	130тис. грн./од.	-	-	+
Економія	Малі витрати на ресурси та енергію	Малі витрати на енергію	Немає економії	Малі витрати на ресурси	-	-	+
Вихід на ринок	Адаптованість на суміжні ринки	Адаптованість на суміжні ринки та можливість виходу на закордонний ринок			-	+	-

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Результати наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виготовлення теплообмінників з параболічними виступами на зовнішній поверхні теплообмінних труб	Готове обладнання, компоненти та елементи теплообмінників	Всі технології існують і використовуються для створення нового теплообмінника, шляхом заміни звичайних труб на модернізовані	Всі технології доступні
	Попередні зразки теплообмінників		



Висновок: технологічна реалізація проекту можлива. Доцільно вдосконалювати готове обладнання або окремі його елементи, а не виготовляти теплообмінник за попередніми зразками, так як на вдосконалення використовується менше ресурсів і часу.

### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

На даний момент виробництво теплообмінних апаратів в Україні знаходиться на етапі насичення та стабільності. Це пов'язано, насамперед із тим, що наша продукція користується попитом у багатьох галузях промисловості нашої державі. Ця продукція є завжди актуальною, завдяки її ефективності використання і постійній модернізації, тому вона має гарне фінансування. Статистика показує, що попит на дану продукцію є доволі стабільним як в нашій країні, так і за її межами.

На рисунку 8.1 зображено динаміку ринку.

Враховуючи вище наведене можна говорити, що дана продукція і надалі буде мати гарні перспективи. З кожним роком всі галузі промисловості (фармацевтична, харчова, хімічна, нафтопереробна та інші) стрімко розвиваються як в нашій країні так і за кордоном. І тому попит на теплообмінники буде зростати, а разом з цим і зростатиме потрібність у більшій їх кількості.

Не важко зрозуміти, що саме впровадження інновації дасть збільшення попиту на продукцію. І ці інновації мають бути спрямовані на збільшення ефективності використання продукції. Тоді галузі промисловості, з розвитком, повинні будуть закуповувати більше наших апаратів та замінювати старі на більш ефективні нові, для економії на енергозатратах, щоб на цьому заробити.

Аналіз попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку наведено в таблиці 4.

За результатами аналізу таблиці 4 можна сказати, що ринок є привабливим для входження, так як знаходиться на етапі насичення та стабільності, а отже теплообмінники актуальні для виготовлення та продажі споживачам.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		



Рисунок 8.1 – Динаміку ринку

Таблиця 8.2 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців в Україні, од	4
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100-150 тис.
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Насичення і стабільність
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Нестандартизований теплообмінник
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка на відповідність затвердженим стандартам
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	65

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики та орієнтовний перелік вимог до товару наведено в таблиці 5.

Таблиця 8.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	2	3	4

Продовження таблиці 8.5

1	2	3	4
Економія при використанні теплообмінного обладнання	Харчова, хімічна, нафтопереробна, фармацевтична та інші галузі промисловості	Аргументована ціна Ефективність та економія при використанні Інноваційність технології Підвешення товару до вимог та стандартів Європейського середовища	- до продукції: ресурсо- та енергозбереження при використанні - до компанії-постачальника: низька ціна

Аналіз внутрішнього маркетингового середовища наведено в таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми проблеми/можливості
	Можливості	Загрози	
Проблеми стратегічного планування	Складність прогнозування, визначення цілей, завдань роботи компанії і методів їх досягнення		Проведення комплексних маркетингових досліджень, розробка стратегії діяльності компанії з урахуванням кризи
Високий інтелектуальний потенціал компанії		Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці
Недостатній рівень фінансування	Поступовий фізичний знос устаткування		Внесення змін до фінансового плану компанії; пошук нових інвесторів
Інноваційність технології	Втрата потенційних клієнтів-консерваторів	Співпраця з клієнтами, орієнтованими на оновлене виробництво	Пошук клієнтів-новаторів Спроби приваблювати консерваторів доведенням якості систем
Невідоме «ім'я» підприємства	Відсутність поганого досвіду у клієнтів	Недовірливе ставлення потенційних клієнтів	Використання різноманітних способів просування, створення презентацій, перевірка дійсної якості товару

Фактори, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому сприяють наведено в таблиці 8.7 та 8.8 відповідно.

Таблиця 8.7 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	2	3
Спрямованість України до Європи	Витіснення вітчизняного товару закордонним	Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища
Світова економічна криза	Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів	Пошук шляхів здешевлення товару без компенсування цього за рахунок його якості
Падіння рівню промислового виробництва в країні	Мала кількість місць впровадження технології	Пошук закордонних клієнтів
Економічний потенціал країни	Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем	Вивід товару на закордонні ринки
Поява нових теплообмінних апаратів	Поява нових конкурентів	Постійний розвиток та вдосконалення товару, орієнтація на постійних клієнтів
Консервативний менталітет українських клієнтів	Вибір перевірених технологій перевірених виробників замість інноваційної	Демонстрація на практиці переважання якості товару за рахунок його інноваційності
Здатність покупців торгуватися	Втрата потенційних клієнтів через велику вартість товару та послуг	Співпраця з клієнтами на взаємовигідних умовах поступок
Орієнтація споживачів на певну торговельну марку	Втрата потенційно важливих клієнтів	Робота над іміджем компанії, доведення слів ділом, підтвердження якості товару
Здатність постачальників торгуватися	Втрата важливих постачальників	Дипломатичність у спілкуванні з постачальниками, при необхідності просування компаній-постачальників
Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи	Втрата постійних постачальників	Наявність зв'язків з різними постачальниками, що можуть бути взаємозамінні
Внутрішня контактна аудиторія підприємства	Зниження продуктивності розробок за рахунок поганих відносин у колективі	Підвищення командного духу, проведення тимблдингів, корпоративів, пошук спільних інтересів

Продовження таблиці 8.7

1	2	3
Засоби масової інформації	Просування конкурентів, публікація неправдивої інформації	Просування власного бренду за рахунок взаємодії з різними видами ЗМІ
Суперництво між наявними конкурентами	Витіснення конкурентами компанії з ринку	Порівняння, аналіз товару конкурентів, запозичення гарних тенденцій та запобігання помилок конкурентів
Поява нових конкурентів	Рівень інноваційності нових конкурентів перевищить рівень інноваційності компанії	Моніторинг ринку, спроби технологічно випереджувати конкурентів

Таблиця 8.8 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	2	3
Спрямованість організацій-клієнтів до енергозберігаючих технологій	Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності	Пошук шляхів доведення та представлення переваг товару компанії над конкурентами
Діяльність підприємств машинобудівної галузі регулюється законодавчими фактами і законами	За допомогою ліцензування та сертифікації можна підвищувати якість реалізованих товарів і послуг.	Дотримання захисту прав споживачів, забезпечення безпеки праці, часу роботи, мінімальної заробітної плати
Наявність сільськогосподарського аспекту в Стратегії сталого розвитку України	Отримання державних інвестицій для впровадження технології	Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій
Спрямованість України до Європи	Розширення ринку збуту товару	Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища
Інтенсивний розвиток	Для того, щоб бути конкурентоспроможним, підприємству необхідно відповідати все більш зростаючим вимогам до технології та обладнання.	Спостереження та впровадження технологій, що йдуть в ногу з часом

Продовження таблиці 8.8

1	2	3
Людський фактор, що виражається у бажанні позбавитися від зайвої роботи	Перевага над конкурентами за якістю та надійністю апаратів, що виготовляються	Вдосконалення теплообмінників
Здатність постачальників торгуватися	Домовленість на взаємовигідних умовах поступок	Дипломатичність у спілкуванні з постачальниками, при необхідності просування компаній-постачальників
Внутрішня контактна аудиторія підприємства	Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності	Підвищення командного духу, проведення тимблдингів, корпоративів, пошук спільних інтересів
Доступність засобів масової інформації	Просування власного бренду	Просування власного бренду за рахунок взаємодії з різними видами ЗМІ
Професійно-технічні конференції, спільноти	Здобування підприємством «власного імені» у професійно-технічній спільноті	Співпраця з цими спільнотами, відвідування тематичних заходів, використання будь-якої можливості заявити про себе

В таблиці 8.9 показано загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 8.9 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1	2	3
1. Тип конкуренції: Монополістич на	Теплообмінник кожної фірми, яка торгує на ринку, є недосконалим замінником теплообмінником, який реалізують інші фірми. Диференціація теплообмінників створює можливість обмеженого впливу на ринкові ціни, так як багато споживачів зберігають прихильність до конкретної марки і фірми навіть при деякому підвищенні цін.	Стартап-проект повинен робити ставку на основні відмінності своєї продукції (за якістю, економічністю, конкретними фізичними характеристиками). Велика кількість продавців виключає можливість змови, не дає особливо впливати на ринкові ціни.
2. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Теплообмінні апарати можна використовувати для різногалузевих виробництв та процесів.	Створення удосконаленого теплообмінного обладнання, яке спрямоване на зниження енергозатрат.

Продовження таблиці 8.9

1	2	3
3. Рівень конкурентної боротьби: Національна - конкуренція між компаніями всередині країни	Менше компаній-конкурентів, за рахунок того, що іноземні компанії не конкурують з національними.	Першим кроком орієнтуватися та виходити на національний ринок, збирати зворотній зв'язок, проблеми та побажання. Охоплювати у співпраці максимальну кількість національних клієнтів, спілкуватися з ними особисто. Паралельно працювати над іміджем компанії.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Під час прийняття рішення про купівлю клієнт буде обирати кращу за властивостями, або за ступенем вдоволення певних його потреб продукцію.	Передбачення способів просування товару та демонстрації його переваг з урахуванням потреб та точок зору різних категорій клієнтів
5. За характером конкурентних переваг: цінова	За рахунок покращення з точки зору клієнта співвідношення ціна/якість підвищується конкурентоспроможність товару	Постійне спостереження та оцінка цінової політики на ринку. Регулювання ціни в комплексі з якістю товару. Просування товару методами, що використовують фактичні розрахунки переваг товару (у чисельному вигляді)
6. За інтенсивністю: марочна	Для вдалого просування, підвищення каналів збуту, кількості клієнтів та партнерів необхідно зарекомендувати себе, створити власне ім'я.	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів.

Після аналізу конкуренції проведено більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером, результати наведено в таблиці 8.10.

Таблиця 8.10 – Аналіз конкуренції за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	1	2	3	4	5

Продовження таблиці 8.10

	1	2	3	4	5
Складові аналізу	«ЕКО EIR» (К), «КСК Теплообмен сервис» (КСК), «Техінсервіс» (Т), «Енерго Дизайн» (С)	Основні бар'єри входження на ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність інвестицій, обмежена можливість науково- дослідницьких та досвідно- конструкторськи х робіт	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	Цінова чутливість покупців. Прихильність до відомих брендів. Негативне ставлення до інновацій	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Але на даний момент аналогів по показникам продуктивн ості немає
Висновки:	Основна перевага – досвід, відоме ім'я. Але, за рахунок інновацій, тісного контакту з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.	Можливість входу на ринок існує. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства- новатори.	Постачальники загалом не диктують умови. На даний момент існує велика низка можливих постачальників. Наш продукт є доволі адаптовним для визначених компонентів.	Диктують умови на ринку: якщо співвідношення ціна/якість буде не співмірним, можуть відмовитися від продукта, оскільки є з чого вибрати.	Мінімальне обмеження через товари- замінники.

В результаті аналізу конкуренції можна зробити висновок, що слабкою стороною проекту є те, що клієнт прихильний до відомих брендів перевірених часом, а сильною – ціна відповідає якості товару та адаптованість на ринок за кордон.

На основі вище наведеного аналізу конкуренції та факторів внутрішнього та зовнішнього маркетингового середовища приводяться фактори конкурентоспроможності в таблиці 8.11.



Таблиця 8.11 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Доступна ціна	За рахунок зменшення енергозатрат – загальна вартість знижується
Інноваційність технології	Впровадження модернізованої поверхні труб теплообмінника не було застосовано в цьому напрямку раніше
Енергозбереження	Завдяки підвищенню ефективності використання теплообмінних труб підвищується ефективність процесу. Це дозволяє отримувати більше якісного продукту з меншою витратою енергії
Ресурсозбереження	Завдяки підвищенню ефективності використання теплообмінних труб підвищується ефективність процесу. Це дозволяє отримувати більше якісного продукту з меншою витратою ресурсів
Адаптованість продукту на суміжні ринки	Використання теплообмінних апаратів такого виду можна адаптувати під різні галузі промисловості.
Можливість виходу на закордонний ринок	Інноваційність технології дозволяє впроваджувати ці апарати не тільки на території України

За факторами конкурентоспроможності в таблиці 8.12 наведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 8.12 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін виготовлення теплообмінників з параболічними виступами на зовнішній поверхні труб

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «CALEX»						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Доступна ціна	18			К, Т	КСК	С		
Інноваційність технології	20	Т, С	К	КСК				
Енерго- та ресурсозбереження	18		К, С	КСК	Т			
Адаптованість продукту на суміжні ринки	15			Т, С		К	КСК	
Можливість виходу на закордонний ринок	10			Т, С			К	КС К

Літери – це скорочене позначення компаній з якими порівнюється («ЕКО EIR» – (К), «КСК Теплообмен сервис» – (КСК), «Техінсервіс» – (Т), «Енерго Дизайн» – (С)).

З таблиці 8.12 видно, що сильною стороною є: доступна ціна, інноваційність технології, енерго та ресурсозбереження, адаптованість продукту на суміжні ринки; а слабкою – можливість виходу на закордонний ринок.

На основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін складено SWOT-аналіз у таблиці 8.13.

Таблиця 8.13 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Доступна ціна</li> <li>- Інноваційність технології</li> <li>- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом</li> <li>- Адаптованість продукту на суміжні ринки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Невідоме «ім'я» підприємства</li> <li>- Недостатній рівень фінансування</li> <li>- Можливість виходу на закордонний ринок</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності...</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності</li> <li>- Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах поступок</li> <li>- Можливість виходу на закордонний ринок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява інноваційного обладнання</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> <li>- Недостатнє фінансування галузі державою, відсутність інвесторів в Україні</li> <li>- Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>- Витіснення вітчизняного товару закордонним</li> <li>- Висока конкуренція на ринку</li> <li>- Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи</li> </ul>

В таблиці 8.14 наведено альтернативні шляхи впровадження стартап-проекту.

Таблиця 8.14 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1	2	3
1. Підведення товару компанії до вимог та стандартів Європейського середовища	Незадоволеність клієнтів-консерваторів, що звикли тільки до ГОСТу	Подолання конкуренції посиленням на європейські стандарти якості
2. Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій	Втрата додаткових інвесторів, що не захочуть ділити прибуток з державою	Впровадження технології на державний рівень та вищі
3. Пошук клієнтів-новаторів Спроби приваблювати консерваторів доведенням якості систем		Розширення клієнтської бази

Продовження таблиці 8.14

1	2	3
4. Використання різноманітних способів просування, створення презентацій, перевірка дійсної якості товару		Формування «імені» бренду, яке впізнають
5. Демонстрація на практиці переважання якості товару за рахунок його інноваційності		Зміна ставлення до інновацій, розширення меж потенціальних клієнтів
6. Підтримання співпраці з постійними клієнтами	Недостатня кількість уваги новим клієнтам	Підтримання стабільної бази постійних клієнтів
7. Спостереження та впровадження технологій, що йдуть в ногу з часом	Втрата важливих елементів перевірених технологій в пошуках кращого	Створення принципово нового, більш інноваційного продукту
8. Робота над іміджем компанії, доведення слів ділом, підтвердження якості товару		Формування «імені» бренду, яке впізнають, розширення клієнтської бази, знаходження компаній для співпраці
9. Співпраця з науково-технічними спільнотами, відвідування тематичних заходів, використання будь-якої можливості заявити про себе		Формування «імені» бренду, яке впізнають, розширення клієнтської бази, знаходження компаній для співпраці

Як висновок можна зробити, що найоптимальнішій шлях – адекватне комбінування напрямів та шляхів розв’язання проблеми; всебічне просування власного бренду; невпинна праця над якістю, енергоефективністю та ергономічністю товару.

#### 8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку (опис цільових груп потенційних споживачів), що наведено в таблиці 8.15.

Таблиця 8.15 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
Приватні компанії хімічної та нафтопереробної промисловості	78%	70%	Конкуренція відносна. Попит залежить від розміру компанії та фінансового стану.	Спілкування на пряму з представниками підприємства дає більшу імовірність заробити прихильність у клієнта
Державний сектор різних галузей промисловості	65%	45%	Висока конкуренція, оскільки більшість конкурентів працюють на державному рівні	Є певна складність, оскільки компанія ще не має власного імені та позитивної репутації
Які цільові групи обрано: Для здобуття іміджу та репутації компанії починати треба з приватних компаній хімічної та нафтопереробної промисловості, а в подальшому розповсюджувати свою діяльність і на державному рівні				

Для роботи на ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 8.16).

Таблиця 8.16 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Максимальне зниження ціни	Масовий маркетинг	Ідеальне для клієнта співвідношення ціна/якість	Стратегія лідерства по витратах
Підписання довгострокових контрактів	Диференційований маркетинг	Супровід обладнання, їх технічне обслуговування, навчання персоналу	Стратегія диференціації

Після чого вибирається стратегія конкурентної поведінки (таблиця 8.17).

Таблиця 8.17 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є «першопрохідцем»?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати.	Загальним для нашого товару і конкурентного є тільки основна ідея, а структура, компоненти, їх співвідношення є унікальними	Стратегія заняття конкурентної ніші

Потім розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.18), що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 8.18 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1. Аргументована ціна. 2. Супроводження товару 3. Необхідна ефективність використання теплообмінника	Стратегія диференціації	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах 3. Програми лояльності за тривалі контракти 4. Супровід товару	1. Висока ефективність використання теплообмінника та надійність. 2. Тривалі контракти. 3. Програми лояльності.

## 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком розробки маркетингової програми стартап-проекту є формування маркетингової концепції товару, яку отримує споживач (таблиця 8.19).

Таблиця 8.19 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Потреба в економії, яку забезпечує запропонований теплообмінник	Збільшення чистого прибутку шляхом економії ресурсів. Покращення якості продукту	- Високий інтелектуальний потенціал компанії - Інноваційність технології - Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження - Адаптованість продукту суміжні ринки - Підвищення продуктивності процесу та якості товару

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту, його фізичні складові, особливості його надання (таблиця 8.20).

Таблиця 8.20 – Опис трьох рівнів моделі товару

Обрана альтернатива розвитку проекту	Сутність та складові		
1	2		
I. Товар за задумом	Головна потреба споживача полягає в економії, яку задовольняє товар. покращення якості готового продукту – теплообмінника, зокрема його труб; зменшення витрат енергетичних, матеріальних та людських ресурсів на виробництво.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Теплообмінники, особливістю яких є використання модернізованих теплообмінних труб. 1. Надійність 2. Енерго- та ресурсозбереження 3. Доступна ціна 4. Інноваційність технології	–	Можна встановити на будь-якому зручному місці, заздалегідь підготовленому, для обслуговуючого персоналу. Захищені від потрапляння води та інших речовин, компоненти.
	Якість: відповідає Європейським нормам та ДСТУ. Тестування проводиться перед встановленням, а також на місці.		
	Пакування – пакування із спеціальними захисними матеріалами для уникання деформацій чи пошкодження		
	Марка: «CALEX»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: • програми лояльності при підписанні довготривалого контракту; • різні способи доставки; • різні способи оплати; • демонстрації та моделювання роботи		

### Продовження таблиці 8.20

1	2
III. Товар із підкріпленням	Після продажу: • впровадження; • обслуговування; • супровід; • навчання персоналу; • гарантія повернення грошей і обміну товару.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде розроблено патент на винахід, на кожному апараті буде фірмовий штамп.	

Після цього проводиться визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 8.21).

Таблиця 8.21 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
130-200 тис. грн	120-170 тис. грн.	20-70 тис. грн. за придбану одиницю товару	Верхня: 150 тис. грн Нижня: 100 тис. грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Клієнти хочуть на власні очі бачити обладнання та його тестування перед закупівлею, потребують доставки, встановлення, консультацій, супроводу	Гарантія Тестування Доставка Ремонт Допомога введення у експлуатацію Допомога при запуску	Нульовий рівень. Наша компанія сама встановлює і проектує обладнання. До споживача доходить продукція з усіма необхідними компонентами.	Власна система збуту і домовленість про подальшу співпрацю

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, наведено в таблиці 8.23.

Таблиця 8.23 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтована на швидке та ефективне спілкування, бажано спеціалізоване	Спілкування як онлайн (сайти, соц.мережі) так і офлайн (зустрічі, телефонні розмови, виставки тощо). Друкована продукція (каталоги, спецвидання). Документальне оформлення домовленостей	Якість залежить від ціни; Тривале партнерство = лояльні ціни; Вчасно, ефективно і економно.	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних (розрахунки, графіки, діаграми). Призначення зустрічей.

## 8.6 Висновки

Як висновок можна сказати, що виробництво теплообмінних апаратів знаходиться на етапі насичення та стабільності. Ця продукція є завжди актуальною, завдяки її ефективності використання і постійній модернізації. Слабкою стороною проекту є те, що клієнт прихильний до відомих брендів перевірених часом, а сильною – ціна відповідає якості товару та адаптованість на ринок за кордон. Проект є конкурентоспроможним, присутня інноваційність технології, доступна ціна, енерго- та ресурсозбереження, адаптованість продукту на суміжні ринки, можливість виходу на закордонний ринок. Для ринкової реалізації продукту було обрано альтернативу підписання довгострокових контрактів та максимальне зниження ціни. Подальша імплементація проекту доцільна.



## Висновки

У магістерській дисертації за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему "Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора та теплообмінника" було модернізовано зовнішню поверхню теплообмінних труб кожухотрубного теплообмінника, що дозволило забезпечити необхідний режим турбулізації потоку в міжтрубному просторі із одночасним збільшенням площі контакту, що забезпечує інтенсифікацію теплообміну, а отже і ефективність при експлуатації теплообмінного апарату в цілому.

Описано технологічну схему, проведено вибір типів апаратів, описано їх конструкцію, виконано порівняння з аналогами та патентну проробку. Виконано параметричні розрахунки, та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність.

Виконано параметричний багатоваріантний розрахунок теплообмінника та обрано конструкцію, що забезпечує найбільшу продуктивність при найменших капітальних та експлуатаційних витратах. Виконано параметричний розрахунок реактора та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність. Перевірили конструкції реактора та теплообмінника, що відповідають вимогам безпеки праці та промислової санітарії.

Розроблено стартап-проект впровадження запропонованої модернізації.

Розроблено систему автоматичного регулювання параметрів блоку алкилювання.

Розроблено технологічний процес виготовлення трубної плити, спроектовано пристрій для свердління отворів.

Виконано 8 креслень та два плакати формату А1. За результатами дисертаційної роботи отримано 1 деклараційний патент України на корисну модель, результати опрелюднено на трьох міжнародних конференціях студентів та опубліковано статтю у фаховому журналі.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 129
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

## Выводы

В магистерской диссертации по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему "Модернизация установки полимеризации газов производства базовых компонентов бензина с разработкой реактора и теплообменника" было модернизировано внешнюю поверхность теплообменных труб кожухотрубного теплообменника, что позволило обеспечить необходимый режим турбулизации потока в межтрубном пространстве с одновременным увеличением площади контакта, что обеспечивает интенсификацию теплообмена, а следовательно и эффективность при эксплуатации теплообменного аппарата в целом.

Сделано описание технологической схемы, проведен выбор типов аппаратов, описаны их конструкции, выполнено сравнение с аналогами и патентную проработку. Выполнено параметрические расчеты, и расчеты основных узлов и элементов на прочность.

Выполнено параметрический многовариантный расчет теплообменника и избрано конструкцию, обеспечивающую большую продуктивность при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах. Выполнено параметрический расчет реактора и расчеты основных узлов и элементов на прочность. Проверено конструкции реактора и теплообменника, что отвечают требованиям безопасности труда и промышленной санитарии.

Разработан стартап-проект внедрения предложенной модернизации.

Разработана система автоматического регулирования блока алкилирования.

Разработан технологический процесс изготовления трубной плиты, спроектировано устройство для сверления отверстий.

Выполнено 8 чертежей и два плаката формата А1. По результатам диссертационной работы получено 1 декларационный патент Украины на полезную модель, результаты опрелюднено на трех международных конференциях студентов и опубликована статья в фаховому журнале.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 130
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піппис	Лат		

## Conclusions

In the master's thesis for the educational-professional program of master's degree on the topic "Modernization of the gas polymerization plant for the production of basic components of gasoline with the development of reactor and heat exchanger", the external surface of the heat exchanger tubes of the shell and tube heat exchanger was modernized, which allowed to provide the necessary mode of turbulence of flow in the intertubular space with simultaneous increase the contact area, which provides the intensification of heat exchange, and hence the efficiency of the operation of the heat exchanger.

It was described technological scheme, it was conducted the selection of types of devices, it was described their designs, it was made the comparisons with counterparts and patent development. Parametric calculations, calculations of main units and strength elements are performed.

It was made the parametric multidirectional calculation of the heat exchanger and the selected design, which ensures the highest performance at the lowest capital and operating costs. The parametric calculation of the reactor and calculations of the main units and elements of strength are performed. It was checked designs of the reactor and heat exchanger that meet the requirements of safety and industrial sanitation.

A startup project for introducing the proposed upgrade is being developed.

The system of automatic control of the parameters of the alkylation block has been developed.

A technological process for the production of a pipe plate is developed, a device for boring holes is designed.

8 drawings and two posters of A1 format are executed. The results of the thesis 1 Ukraine declarative patent for utility model was received, the results were described at three international conferences of students and an article in a professional journal was published.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

## Перелік посилань

1. Ластовкин Г.А., Радченко Е.Д., Рудин М.Г. Справочник нефтепереработчика – Л.: Химия, 1986. – 648 с., ил.
2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікульонок І.О., Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни.
3. Патент № UA 116787 U, F28D 7/00. Перехресний кожухотрубний теплообмінник / Ревтов О.О., Костик С.І., Шибєцький В.Ю., Поводзинський В.М., – Опубл. 12.06.2017, Бюл. №11.
4. Патент № UA 121939 U, F28D 7/10. Теплообмінник “Труба в трубі” / Мікульонок І.О., Андреев І.А., Довгошея А.А. – Опубл. 26.12.2017, Бюл. №24.
5. Патент № UA 115348 U, F28F 1/42. Кожухотрубний теплообмінник / Драгузя К.В., Дахненко В.Л. – Опубл. 10.04.2017, Бюл. №7.
6. Patent application JP 2018054216 (A). Shell-and-tube type heat exchanger / Shimizu Shota – 2018-04-05.
7. Patent application US2017205147 (A1). Shell-and-tube type heat exchanger / Rizzi Enrico – 2017-07-20.
8. Патент № UA 113839 U, B01J 12/00. Реактор / Фурс О.В., Степанюк А.Р. – Опубл. 10.02.2017, Бюл. №3.
9. Патент № UA 116817 U, B01J 19/18. Реактор з пневматичним перемішуючим пристроєм / Ревтов О.О., Костик С.І., Шибєцький В.Ю., Перехрестенко О.В. – Опубл. 12.06.2017, Бюл. №11.
10. Патент № UA 117157 U, B01J 8/18. Реактор для високотемпературних процесів у псевдозрідженому стані/ Сімейко К.В., Бондаренко Б.І., Кожан О.П., Дмитрієв В.М. – Опубл. 26.06.2017, Бюл. №12.
11. Patent application CN107983270 (A). Moving-bed reactor, solid acid alkylation reaction system and solid acid alkylation reaction method / Long Jun, Zhu Bingtian – 2018-05-04.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 132
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпс	Лат		

12. Patent application CN207137922 (U). Effectual reactor of alkylation reaction/ Li Qing – 2018-03-27.

13. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов/Под П. Г. Романкова.– Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.

14. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

15. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.М. “Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности”. Изд. 2-е , пер. и доп. Л., ”Химия”, 1974 г. - 374 стр.

16. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.

17. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з’єднання»: Навч. посібник/. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с.

18. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник. – К.:ІСДО, 1995 – 184 с.

19. Практикум із охорони праці: Навч. посіб. / В.Ц. Житецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук та ін.; За ред. В. Ц. Житецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

20. Мікульонок І.О., Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1998. – 256 с.

21. Розроблення стартап-проекту: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28с.

22. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 133
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпс	Лат		

НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

23. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode: <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

24. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. – Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

25. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

26. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

27. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа: [http://futuolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futuolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 134
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

28. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа: [http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

29. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						135
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

**Додаток А**

**Технологія виготовлення трубної плити теплообмінника**

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						136
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		



## Технологія виготовлення трубної плити теплообмінника

Призначення, умови роботи деталі у вузлі апарату

Метою розділу дисертації є розробка технологічного процесу виготовлення деталі – трубної плити і проектування оснастки (пристрою) для одної з операцій виготовлення деталі, а саме для свердління шести отворів діаметром 20 мм.

Трубна плита є деталлю трубчатки, яка з'єднує корпус з камерою теплообмінника. Трубна плита сприймає зусилля від тиску в корпусі. Деталь є відповідальною і напруженою. Дефекти внутрішні і зовнішні не допускаються.

В процесі виконання роботи вирішуються наступні завдання:  
Розробка технології виготовлення деталі „трубна плита”, в яку входить вибір методу отримання заготовки і розрахунок припусків, вибір устаткування і інструментів для кожної операції; проектування верстатного пристрою – стіл поворотний.

Технологічний аналіз виготовлення деталі

Матеріал деталі – сталь нержавіюча 08X18H10T, вибрана з міркувань техніки безпеки, корозійної стійкості і міцності, має достатню пластичність для обробки тиском. Заготовка за формою та розмірами близька до форми та розмірів готової деталі, а це є ознакою технологічності.

Матеріал деталі піддається різанню з використанням стандартних ріжучих матеріалів (твердий сплав, швидкоріжуча сталь). Всі поверхні деталі доступні для ріжучого інструменту. Ступені поверхонь обертання зменшуються в одному напрямку – це технологічно.

					ЛН71мп.066632.001ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Чеберда В.О				Технологія виготовлення трубної плити	Лит.	Лист
Пров.	Двойнос Я.Г.						Листов
Реценз.						1/137	14
Н. контр.						КПІ ім. І.Сікорського, ІХФ, МАХНВ	
Утв.							

В іншому деталь складається з уніфікованих конструкційних елементів оптимального ступеню точності та шорсткості поверхні, що дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання та стандартну оснастку при стандартних технологічних базах.

Усі технологічні вимоги встановлені в залежності від службового призначення виробу та визначається ступенем точності деталі.

В цілому деталь технологічна.

Кількісна оцінка технологічності

За коефіцієнтом уніфікації:

$$K_{y.e.} = \frac{\theta_{y.e.}}{\theta_e} = \frac{9}{5} = 1,8,$$

де  $\theta_{y.e.} = 9$ , – число уніфікованих елементів;

$\theta_e = 5$ , – кількість конструктивних елементів згідно з кресленням.

За коефіцієнтом точності обробки:

$$K_{т.ч.} = 1 - \frac{1}{T_{CP}} = 1 - \frac{1}{13,1} = 0,92 > 0,8,$$

де  $T_{CP}$  – середній квалітет обробки деталі:

$$T_{CP} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{7 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 8}{10} = 13,1.$$

Таблиця А.1– Квалітети деталі

Квалітет розміру	Кількість квалітетів
7	1
12	1
14	8

$T_i$ – квалітет обробки ;

$n$  – кількість відповідних квалітетів.

За коефіцієнтом шорсткості поверхні:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{ср}} = 1 - \frac{1}{7,27} = 0,86 > 0,6,$$

де  $Ш_{ср}$  – середнє значення параметрів шорсткості.

Таблиця А.2– Шорсткість деталі

Параметр шорсткості	Кількість параметрів
3,2	1
6,3	12
12,5	3

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 12 + 12,5 \cdot 3}{16} = 7,27,$$

де  $Ш_i$  – чисельне значення параметра шорсткості;

$n_i$  – число відповідних параметрів шорсткості.

За коефіцієнтом використання металу:

$$K_{вм} = \frac{q}{Q} = \frac{177}{181} = 0,978,$$

де  $q = 177$  кг – маса деталі згідно креслення;

$Q = 181$  кг – маса заготовки згідно.

Кількісна оцінка показала, що деталь технологічна.

### Вибір та обґрунтування виду заготовки

Одним з основних напрямків у машинобудуванні є вибір форм заготовок, що дають найменші технологічні відходи. Беззупинне підвищення точності заготовок і наближення їхніх форм до форм готових деталей різко скорочує галузь застосування різних методів обробки різанням і скорочує відходи металу в стружку.

## Вибір виду заготовки та обґрунтування способу її виконання

Заготовка відноситься до класу простого сортового профілю. Точність гарячекатаного прокату приблизно відповідає 12 – 14 квалітету. Заготовку, зображену на рисунку А.1, отримуємо з листового прокату розмірами 1000×1000×30 киснево-флюсовою газовою різкою. Деталь має форму диску, тому з урахуванням середньосерійного виробництва заготовка з листового прокату найекономічніша.

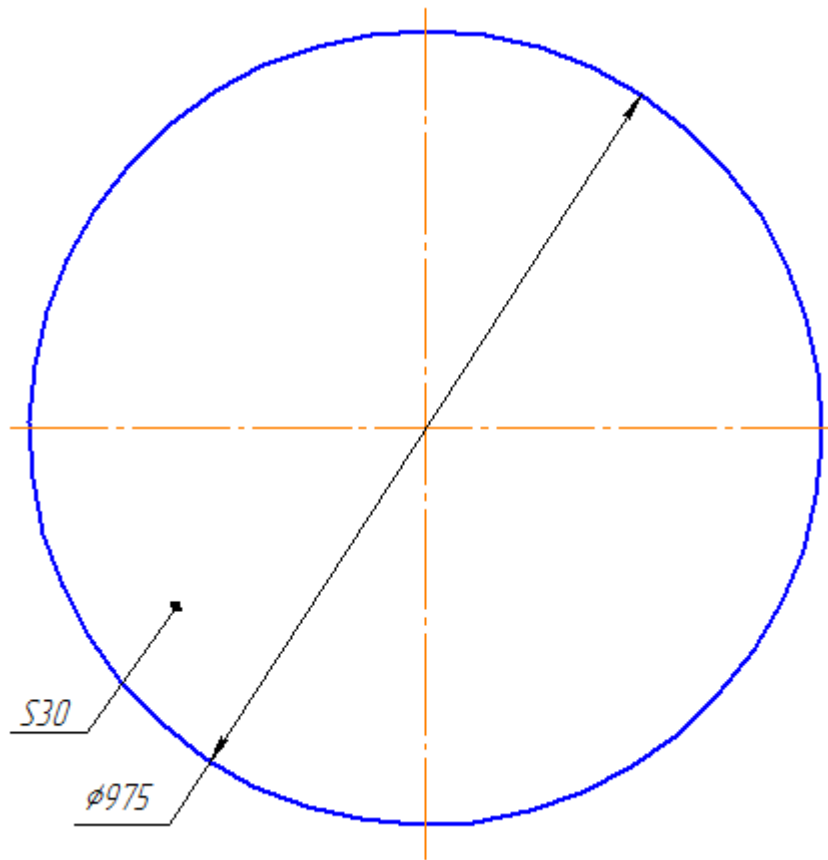


Рисунок А.1 – Заготовка трубної плити

Визначення розмірів заготовки з допусками

Маса деталі  $q = 177$  кг (згідно з кресленням).

Приймаємо межу маси заготовки:

$$Q = 180 \dots 200 \text{ кг}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						140
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

Клас точності прокату Т3 за ГОСТ 7505–89 [1].

Об'єм простої описаної фігури:

$$V_{\Phi} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot l}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,975^2 \cdot 0,03}{4} = 0,0224 \text{ м}^3;$$

Об'єм заготовки очікуваний:

$$V_n = V_{\Phi} - \left( n \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4} - 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h \cdot S - S \cdot h \cdot l \right) = 0,0224 -$$

$$- \left( 442 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,025^2 \cdot 0,03}{4} - 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,016 \cdot 0,008 - 0,008 \cdot 0,006 \cdot 0,816 \right) = 0,0163 \text{ м}^3;$$

Відношення  $V_n/V_{\Phi} = 0,0163/0,0224 = 0,67$ .

Ступінь складності – С2 за ГОСТ 7505 – 89 [1].

Вихідний індекс – 14 за ГОСТ 7505 – 89 [1].

Основні та додаткові припуски та допуски назначаємо згідно ГОСТ 7505 – 89.

Таблиця А.2 –Визначення розмірів заготовки з допуском

Поверхня, що оброблює ться	Шорс ткість <i>Ra</i> , мм	Припус к на розмір, мм	Розмір заготовки, мм		Відхилен ня розмірів, мм
			Розраху н- ковий	Прийня тий	
Ø975	12,5	3,5	Ø978,5	Ø979	+1,50/0,00

Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Розрахунок припусків аналітичним методом на обробку диску діаметром 975 мм, H12

Розрахунок проводимо за методикою, викладеною в [2].

1 перехід – чорнове розточення H14, *Ra* 25

2 перехід – чистове розточення H12, *Ra* 12,5

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						141
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Мінімальний припуск згідно [2].

$$2Z_{\min} = 2(R_Z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \xi_i^2}; \quad (\text{A.1})$$

Величини  $R_Z$  та  $h$  назначаємо згідно [2].

Для заготовки  $R_Z = 700$  мкм,  $h_1 = 200$  мкм.

Сумарне відхилення для заготовки:

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{екс}}^2 + \Delta_{\text{П}}^2}. \quad (\text{A.2})$$

де  $\Delta_{\text{кор}}$  – короблення поверхні отвору заготовки,

$\Delta_{\text{екс}}$  – відхилення від концентричності отвору,

$\Delta_{\text{П}}$  – відхилення від перпендикулярності.

$$\Delta_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta K \cdot e)^2 + (\Delta K \cdot D)^2} = \Delta K \cdot \sqrt{e^2 + D^2}, \quad (\text{A.3})$$

де  $e = 30$  мм – товщина диску згідно з кресленням,

$D = 975$  мм – діаметр диску згідно з кресленням,

$\Delta_K = 3$  мкм/мм – питома кривизна [2].

$$\Delta_{\text{кор}} = 3 \cdot \sqrt{30^2 + 975^2} = 2926 \text{ мкм},$$

$$\Delta_{\text{екс}} = \frac{800 + 1200}{2} = 1000 \text{ мкм},$$

$$\Delta_{\text{П}} = \Delta_{\text{Н}} \cdot L = 0,7 \cdot 50 = 350 \text{ мкм},$$

де  $\Delta_{\text{Н}} = 0,7$  мкм/мм – питоме відхилення,

$$\Delta_1 = \sqrt{2926^2 + 1000^2 + 350^2} = 3112 \text{ мкм}.$$

Відхилення після чорнового точіння:

$$\Delta_2 = k_{y2} \cdot \Delta_1 = 0,06 \cdot 3112 = 187 \text{ мкм},$$

де  $k_y$  – поправочний коефіцієнт.

Розміри диску після чистового точіння:

$$d_{\text{P3min}} = d_{\text{Н}} - ei = 975 - 0,5 = 974,5 \text{ мм},$$

$$d_{\text{P3max}} = d_{\text{Н}} + ES = 975 + 0 = 975 \text{ мм}.$$

Похибка закріплення заготовки для чорнового точіння:  $\xi_2 = 500$  мкм,

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						142
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

Похибка закріплення для чистового точіння  $\xi_3 = 250$  мкм.

Мінімальний припуск на чорнове точіння:

$$2 \cdot Z_{2\min} = 2 \cdot (R_{Z1} + h_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \xi_2^2}) = 2 \cdot (125 + 120 + \sqrt{3112^2 + 500^2}) = 6794 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск на чистове точіння:

$$2 \cdot Z_{3\min} = 2 \cdot (R_{Z2} + h_2 + \sqrt{\Delta_2^2 + \xi_3^2}) = 2 \cdot (63 + 60 + \sqrt{187^2 + 250^2}) = 871 \text{ мкм.}$$

Розрахунковий розмір для чорнового точіння:

$$d_{P2\min} = d_{P3\max} + 2Z_{3\min} = 975 + 0,871 = 975,871 \text{ мм,}$$

Розрахунковий розмір для заготовки:

$$d_{P1\min} = d_{P2\max} + 2Z_{2\min} = 977,621 + 6,794 = 984,415 \text{ мм.}$$

Допуск на обробку заготовки.

Для деталі:  $TD_3 = 0,5 \text{ мм} = 500 \text{ мкм}$  (H12);

Для чорнового точіння:  $TD_2 = 1,75 \text{ мм} = 1750 \text{ мкм}$  (H14);

Для заготовки:  $TD_1 = 15 \text{ мм} = 15000 \text{ мкм}$ , (T1).

Мінімальний гарантований розмір:

$$d_{1\min} = 984,415 \text{ мм;}$$

$$d_{2\min} = 975,871 \text{ мм.}$$

Розрахунковий максимальний розмір визначаємо сумою мінімального розрахункового розміру та величини допуску:

$$d_{1\max} = d_{P1\min} + TD_1 = 984,415 + 15000 = 999,415 \text{ мм;}$$

$$d_{2\max} = d_{P2\min} + TD_2 = 975,871 + 1750 = 977,621 \text{ мм.}$$

Мінімальне та максимальне значення припусків:

$$2Z_{2\max} = d_{1\max} - d_{2\max} = 999,415 - 977,621 = 21,794 \text{ мм;}$$

$$2Z_{2\min} = d_{1\min} - d_{2\max} = 984,415 - 977,621 = 6,794 \text{ мм;}$$

$$2Z_{1\max} = d_{2\max} - d_{3\min} = 977,621 - 974,5 = 3,121 \text{ мм;}$$

$$2Z_{1\min} = d_{2\min} - d_{3\max} = 975,871 - 975 = 0,871 \text{ мм.}$$

На рисунку А.2 зображена схема графічного розташування припусків та допусків на обробку поверхні діаметром 975 мм, H12.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						143
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

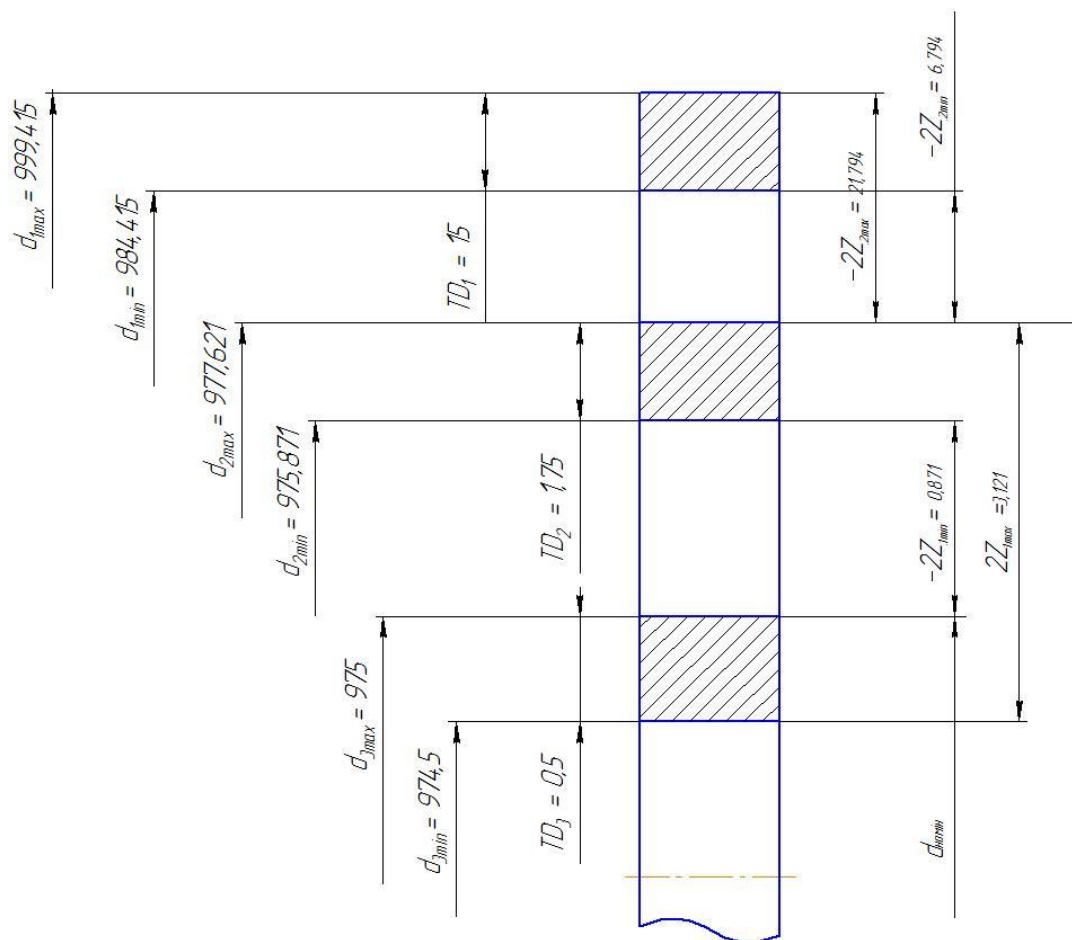


Рисунок А.2 – Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку поверхні діаметром 975 мм, H12

Розрахунок режимів різання при свердлінні отворів діаметром 20 мм

Матеріал який оброблюється – сталь 08X18H10T. Обладнання - токарно – карусельний верстат з ЧПК моделі MC1700МФ4, інструмент – свердло спіральне діаметром 10 мм з швидко ріжучої сталі Р6М5 (ГОСТ 4010–77), форма заточення свердла – нормальна.

Глибина різання  $t = \frac{d}{2} = \frac{20}{2} = 10$  мм.

З рекомендованих подач призначаємо  $S_0 = 0,28$  мм/об. Приймаємо період стійкості інструмента  $T = 45$  хв.

Швидкість різання, яка допускається періодом стійкості інструмента:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_0^y} \cdot K_v = \frac{9,8 \cdot 20^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,28^{0,5}} \cdot 0,47 = 13,2 \text{ мм/хв},$$



$$\text{де } K_V = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} = 0,47 \cdot 1 \cdot 1 = 0,47,$$

$$C_V = 9,8,$$

$$q = 0,4,$$

$$y = 0,5,$$

$$m = 0,2.$$

$K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{mv} = K_\Gamma \cdot \left( \frac{750}{\sigma_s} \right)^{N_v} = 1 \cdot \left( \frac{750}{325} \right)^{-0,9} = 0,47,$$

де  $K_\Gamma = 1$  – коефіцієнт, що враховує матеріал свердла.

Обертний момент та осьова сила:

$$M_{об} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S_0^y \cdot K_p, \text{ Нм}; \quad (\text{A.5})$$

$$P_0 = 10 \cdot C_P \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н}, \quad (\text{A.6})$$

Значення коефіцієнтів та показників ступеня вибираємо за таблицями в довіднику.

$$C_M = 0,0345,$$

$$q = 2,0,$$

$$y = 0,8,$$

$$C_P = 68,$$

$$q = 1,0,$$

$$y = 0,7.$$

$k_p$  – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки,  $k_p = 0,68$ .

$$M_{об} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 20^2 \cdot 0,28^{0,8} \cdot 0,75 = 33,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 20^1 \cdot 0,28^{0,7} \cdot 0,75 = 3975 \text{ Н}.$$

Потужність різання:

$$N_c = \frac{M_{об} \cdot n}{9750}, (\text{A.7})$$

де  $n$  – частота обертання інструмента:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						145
Змн.	Арк.	№ локум.	Підпис	Лат		

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 13,2}{3,14 \cdot 20} = 221,3 \text{ об/хв.}$$

По станку підбираємо наближене значення  $n_{\phi} = 225 \text{ об/хв}$ , тоді фактична швидкість різання:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 225}{1000} = 13,4 \text{ м/хв.}$$

Потужність різання:

$$N_c = \frac{33,7 \cdot 225}{9750} = 0,78 \text{ кВт.}$$

По паспортним даним, потужність станка  $N_{кр} = 15 \text{ кВт.}$

Приймаємо:  $t = 17 \text{ мм}$ ,  $S_0 = 0,28 \text{ мм/об}$ ,

$$n_{\phi} = 225 \text{ об/хв}, V_{\phi} = 13,4 \text{ м/хв}, N = 0,78 \text{ кВт},$$

$$S_{XB} = 0,28 \cdot 225 = 63 \text{ мм/хв.}$$

Розрахунок норми часу на свердління отворів діаметром 20 мм

Штучно – калькуляційний час на свердління:

$$T_0 = \frac{l + l_{BP} + l_{ПЕР}}{S_{XB}} = \frac{100 + 0,3 \cdot 16 + 0}{63} = 1,66 \text{ хв},$$

де  $l$  – довжина поверхні, яка оброблюється:

$$l = t = 17 \text{ мм};$$

$$l_{BP} = 0,3 \cdot 17 \text{ мм} – \text{довжина врізання};$$

$$l_{ПЕР} = 0 – \text{довжина перебігу інструменту.}$$

Таблиця А.3– Норми допоміжного часу

№ п/п	Найменування дії оператора	Норма часу
1	Очистити пристрій від стружки	0,09
2	Встановити та зняти заготовку вручну	0,15
3	Закріпити та відкріпити заготовку	0,04
Всього		0,28

Для одного отвору:  $T_{цк.} = 1,66 + 0,28 = 1,94$  хв.

Для шести отворів:  $T = 1,94 \cdot 6 = 11,7$  хв.

Розробка пристрою

Призначення, опис конструкції і робота пристрою

Накладні поворотні столи встановлюються на робочий стіл вертикального або радіально-свердлильного верстата і використовуються для обробки деталей, отвори в яких розташовані по колу. На верстатах з багатошпиндельною свердлильною головкою поворотні столи слугують для позиційної обробки отворів в деталях.

На поворотній частині столу або стійки монтуються змінні наладки для базування і закріплення оброблюваних деталей. Наладки на столи складаються в основному з установочно-затискних елементів; кондукторна плита з втулкою закріплюється на корпусі окремо. Наладки на стійки окрім установочно-затискних пристроїв включають звичайно кондукторні плити з кондукторними втулками. В такому виконанні вони представляють собою звичний кондуктор, що обертається разом з планшайбою.

Розрахунок параметрів роботи пристрою, які забезпечують надійне закріплення деталі

Для свердління отворів, діаметром 20 мм у трубній решітці передбачений технологічним процесом поворотний стіл, зображений на рисунку А.3, у якому закріплення оброблюваної деталі здійснюється за допомогою своєї ваги.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						147
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

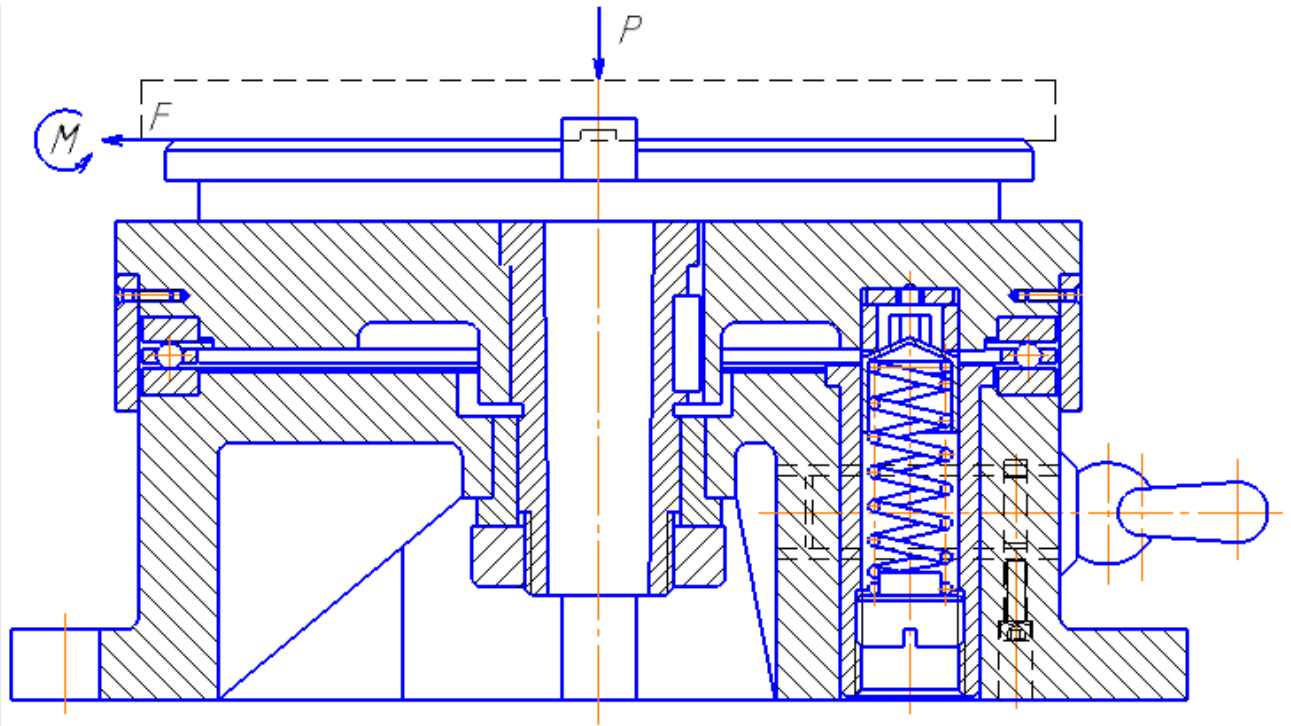


Рисунок А.3 – Поворотний стіл

Проведемо перевірочний розрахунок сили затиску заготовки.

Деталь встановлена на нижню поверхню стола. Виникаюча сила різання створює момент, що прагне повернути заготівку навколо осі.

Цьому моменту протидіє момент тертя, створюваний власною вагою заготовки.

Власна вага заготовки:

$$P = m \cdot g = 177 \cdot 9,8 = 1734,6 \text{ Н},$$

де  $m = 177$  кг – маса деталі;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

Сила тертя заготовки:

$$F_{\text{тр}} = P \cdot f = 1734,6 \cdot 0,3 = 520,38 \text{ Н},$$

де  $f = 0,3$  – коефіцієнт тертя.

Момент тертя заготовки:

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot r = 520,38 \cdot 0,663 = 345 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Необхідною умовою для того, щоб деталь у процесі обробки залишалася нерухомою, є те, щоб зусилля, що розвивається заготовкою від власної ваги,

перевищувало зусилля, що виникає в процесі різання:

$$M_{\text{тр}} \geq M_{\text{св}}$$

$$345 \geq 33,7$$

Висновок: умова фіксації деталі виконується.

### Перелік посилань

1. Методические указания к расчету припусков по дисциплине "Технология машиностроения" для студентов специальности 0501/ Сост. В.В. Душинский и др.- К.: КПИ, 1986. -72 с.

2. Справочник: Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении/ Косилова А.Г., Мерещяков Р.К., Калинин М.А. – М.: Машиностроение, 1976. - 288 с.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						149
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

## Додаток Б

### Автоматичний контроль і керування процесом

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						150
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піппис	Лат		

## Вступ

Автоматизація хімічних виробничих процесів є одним з основних напрямків технологічного прогресу виробництва.

Автоматизована система керування механічними процесами сприяє підвищенню ефективності виробництва при виробництві базових компонентів бензину.

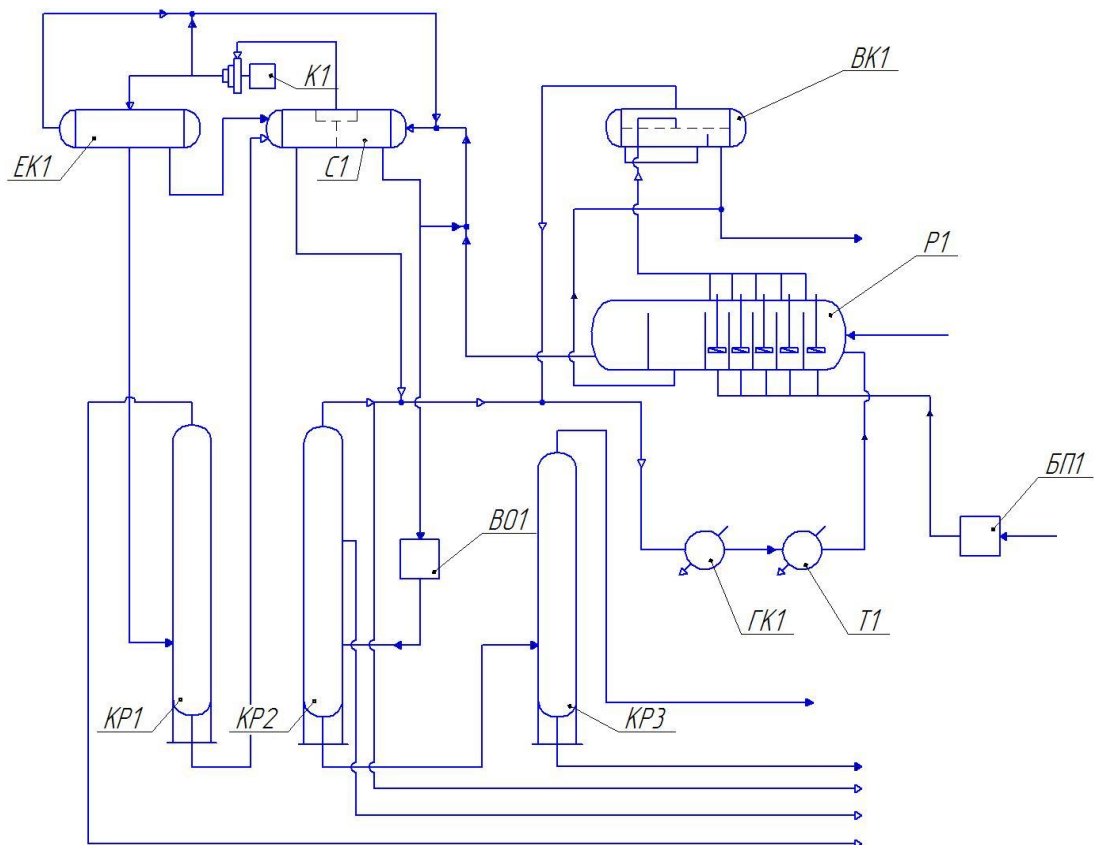
В автоматизованих системах керування використовують всі рівні засоби розвитку і методи керування механічними процесами. У керуванні дуже важливу роль грають питання збору і перетворення параметрів, що характеризують хід технологічного процесу.

Автоматичний контроль полегшує працю оператора, але не вирішує до кінця проблему керування складними технологічними процесами. Тому все частіше використовуються системи автоматизації.

					ЛН71мп.066632.001ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Автоматичне регулювання реактора в установці виробництва базових компонентів бензину	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Чеберда В.О							
Пров.		Двойнос Я.Г.					1/151	11	
Реценз.						КПІ ім. І.Сікорського, ІХФ, МАХНВ			
Н. контр.									
Утв.									

## Б.1 Опис технологічної схеми полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину

Технологічна схема для полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину зображена на рисунку Б.1.



БП1 – блок підготовки сировини; Т1 - теплообмінник;  
 Р1 – горизонтальний реактор алкилювання; ВК1 – відстійник килости;  
 С1 – сепаратор; К1 – компресор; ГК1 – конденсатор; ЕК1 – ємність для газоконденсату; КР1, КР2, КР3 – ректифікаційна колона;  
 ВО1 – вузол очищення алкілопродуктів від ефірів сірчаної кислоти

Рисунок Б.1 – Технологічна схема полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину.

Технологічна схема установки включає такі блоки:

- блок підготовки сировини;
- реакторний;



- ректифікаційний;
- очищення алкилопродуктів;
- блок регенерації відпрацьованої сірчаної кислоти.

На блоку підготовки сировини відбувається змішування і усереднення потоків сировини, сушка, видалення сірчаних та дієнових вуглеводів. В реакторному блоці відбувається реакція ізобутану з олефінами в присутності каталізатора, в результаті чого утворюється алкилат, бензинові фракції, що характеризуються високою стабільністю і детонаційною стійкістю. Далі алкилат направляється на ректифікаційні колони для розділення на окремі складові. На блоці очищення алкилопродуктів, алкилат очищається від ефірів сірчаної кислоти. Сировиною установки полімеризації є ізобутан, бутан-бутиленова і пропан-пропіленова фракції, які отримуються переважно в процесах каталітичного і термічного крекінгу. Каталізатором є сірчана кислота з концентрацією від 99.5 до 86 % по моногідрату. В свіжій кислоті не допускається вміст вільного  $\text{SO}_3$ . Каталітичні властивості кислоти змінюються по мірі накопичення в ній вуглеводів, що розчиняються та води. Відпрацьована сірчана кислота на сучасних установках направляється на регенерацію методом високотемпературного термічного розщеплення.

Для складання схеми автоматизації вибираємо реакторний блок, що включає в себе горизонтальний реактор алкілування, зображений на рисунку Б.2. Перелік приладів, використаних для складання схеми автоматизації наведено в таблиці Б.1.

У даному апараті потрібно контролювати і регулювати наступні параметри:

1. Витрати сировини, ізобутану та каталізатора, що подаються в реактор;
2. Тиск у трубопроводах;
3. Витрати продуктів реакції, що виходять з реактора;
4. Рівень суміші в реакторі;
5. Наявність обертів валів у мішалках.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						153
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

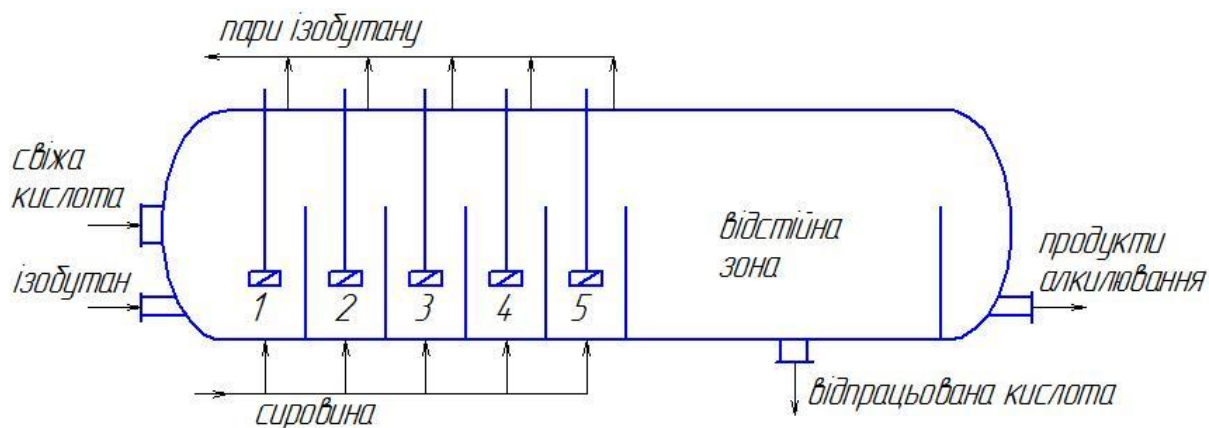


Рисунок Б.2 – Схема горизонтального реактора алкілювання

Таблиця Б.1 – Перелік приладів, що входять до схеми автоматизації

№ позиції на схемі	Найменування параметра	Місце встановлення	Найменування та характеристика	Кількість
1	2	3	4	5
1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1	тиск	Трубопроводи	Датчики реле тиску	6
1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 5-2, 6-2	тиск	Щит КВП та А	Манометри сигналізуючого та показуючого типу	6
7-1, 8-1, 13-1	Витрата	трубопровід	Камерний поршневий лічильник (витратомір)	3
7-2, 8-2, 13-2	Витрата	трубопровід	Дифманометр мембранний	3
7-3, 8-3, 13-3	Витрата	Щит КВП та А	Вторинний показуючий та реєструючий прилад	3
7-4, 13-4	Витрата	Щит КВП та А	Суматор	2
8-4, 13-5	Витрата	Щит КВП та А	Регулятор витрати	2
8-5, 13-6	Витрата	Щит КВП та А	Потенціометричний задаючий пристрій	2
9-2, 10-2, 12-2, 14-2	Витрата	Щит КВП та А	Станція керування	4

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
9-1, 10-1, 12-1, 14-1	Витрата	Трубопровід	Магнітний пускач	4
11-1	Рівень	Реактор	Електричний рівнемір	1
11-2	Рівень	Щит КВП та А	Вторинний показуючий та реєструючий прилад	1
11-3	Рівень	Щит КВП та А	Регулятор рівня	1
11-4	Рівень	Щит КВП та А	Потенціометричний задаючий пристрій	1
11-6	Рівень	Щит КВП та А	Суматор	1
15-1, 16-1, 17-1, 18-1, 19-1	Частота обертання вала	реактор	Датчик тахогенератора	5
15-2, 16-2, 17-2, 18-2, 19-2	Частота обертання вала	реактор	Прилад для контролю частоти обертання, показуючий	5
15-3, 16-3, 17-3, 18-3, 19-3	Частота обертання вала	реактор	Датчик-реле	5
20-1	Сигналіза- ція	Щит КВП та А	Мікроперемикач	1
21-1, 22-1, 23-1, 24-1, 25-1	Захист	реактор	Магнітний пускач	5
21-2, 22-2, 23-2, 24-2, 25-2	Захист	Щит КВП та А	Панель ручного керування	5
НЛ	Світлова сигналіза- ція	Щит КВП та А	Сигнальна лампа	26

## Б.2 Автоматизація технологічного процесу

### Б.2.1 Система автоматичного контролю

Розробку даного розділу виконано згідно з [1], [2] та [3].

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 155
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпс	Лат		

В данній схемі контролюються такі параметри:

1) З першого по шостий контури включно контролюють тиски у трубопроводах. Контури складаються з датчиків реле тиску (поз. 1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1) та манометрів сигналізуючого та показуючого типу (поз. 1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 5-2, 6-2). Крім того сигнали мають вихід на світлові лампочки, контури сигналізації та захисту.

2) Сьомий, восьмий і тринадцятий контури контролюють витрату сировини, сірчаної кислоти та ізобутану, що надходять в реактор, відповідно. Витрати вимірюємо за допомогою витратомірів FE (поз. 7-1, 8-1, 13-1), розташованих на трубопроводах. Далі сигнали подаються на мембранні дифманометри (поз. 7-2, 8-2, 13-2), далі реєструються на вторинних реєструючих та показуючих пристроях (поз. 7-3, 8-3, 13-3). Крім того сигнал має вихід на світлові лампочки, контури сигналізації та захисту.

3) П'ятнадцятий, шістнадцятий, сімнадцятий, вісімнадцятий та дев'ятнадцятий контури контролюють справність роботи двигунів – по місцю встановлюються датчики тахогенератора (поз. 15-1, 16-1, 17-1, 18-1, 19-1), сигнал з яких подається на контролюючі показуючі пристрої (поз. 15-2, 16-2, 17-2, 18-2, 19-2), далі сигнал поступає на датчики-реле (поз. 15-3, 16-3, 17-3, 18-3, 19-3), звідки сигнал поступає на контур сигналізації та захисту.

4) Одинадцятий контур контролює рівень суміші у реакторі. По місцю встановлюється електричний рівнемір (поз. 11-1), сигнал з якого подається на вторинний показуючий та реєструючий прилад (поз. 11-2). Крім того сигнал має вихід на світлові лампочки, контури сигналізації та захисту.

### **Б.2.2 Система автоматичного регулювання**

Сьомий, восьмий та дев'ятий контури регулюють подачу сірчаної кислоти за її співвідношенням до витрат сировини. За допомогою витратомірів FE (поз. 7-1, 8-1), розташованих на трубопроводах, вимірюємо витрати, далі сигнали

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк. 156
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпис	Лат		

подаються на мембранні дифманометри (поз. 7-2, 8-2) і реєструються на вторинних реєструючих та показуючих пристроях (поз. 7-3, 8-3). При поданні сигналу на суматор (поз. 7-4) виміряні значення порівнюються з заданими, які надходять з задавача (поз. 8-5), якщо відхилень немає, тоді керуючого впливу нема; якщо є відхилення, то регулятор витрат (поз. 8-4) дає команду витрати сірчаної кислоти і сигнал надходить до станції керування (поз. 9-2), і далі на магнітний пускач (поз. 9-1) і на електричний виконавчий механізм (поз. 9), що контролює клапан подачі сірчаної кислоти.

Одинадцятий та дванадцятий контури регулюють рівень суміші в реакторі. З електричного рівнеміра (поз. 11-1) подається сигнал на вторинний показуючий та реєструючий прилад (поз. 11-2). При поданні сигналу на суматор (поз. 11-6) виміряне значення порівнюється з заданим, яке надходить із задавача (поз. 11-4), якщо відхилень немає, тоді керуючого впливу нема; якщо є відхилення, то регулятор витрат (поз. 11-3) дає команду витрати продуктів реакції і сигнал надходить до станції керування (поз. 12-2), і далі на магнітний пускач типу (поз. 12-1) і на електричний виконавчий механізм (поз. 12), що контролює клапан витрати продуктів реакції.

Тринадцятий і чотирнадцятий контури регулюють витрату ізобутану на вході в реактор. Контур складається з камерного поршневого лічильника (поз.13-1) розташованого на трубопроводі, де вимірюється витрата ізобутану на вході в реактор, далі сигнал подається на мембранний дифманометр (поз. 13-2), що реєструється на вторинному реєструючому та показуючому пристрої (поз. 13-3), далі сигнал йде на суматор (поз. 13-4) і порівнюється з заданим значення, яке формується задавачем (поз. 13-6). Якщо є відхилення, то сигнал потрапляє на регулятор витрати (поз. 13-5), сигнал якого подається на станцію керування (поз. 14-2) та на магнітний пускач (поз. 14-1) далі на електричний виконавчий механізм (поз.14), що контролює клапан витрати ізобутану.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						157
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Лат		

### Б.2.3 Система сигналізації та захисту

В даній схемі забезпечується чітка технологічна сигналізація, що передбачає уникнення аварій чи нещасних випадків.

У випадку аварійної ситуації, якщо тиск в трубопроводах наближається до допустимого значення в контурах контролю тиску 1, 2, 3, 4, 5 та 6 спрацьовує світлова сигналізація (лампочки HL1- HL2, HL3- HL4, HL5- HL6, HL7- HL8, HL9- HL10, HL11- HL12 відповідно).

У випадку аварійної ситуації в контурах 7, 8 та 9 сигнал подається на станцію керування (поз. 9-2), далі сигнал йде на пускач магнітний (поз. 9-1), що підсилює сигнал і подає його на електричний виконавчий механізм (поз. 9), що перекриває подачу сірчаної кислоти у реактор.

У випадку аварійної ситуації в контурах 11 та 12 сигнал подається на станцію керування (поз. 12-2), далі сигнал йде на пускач магнітний (поз. 12-1), що підсилює сигнал і подає його на електричний виконавчий механізм (поз. 12), що перекриває витрати продуктів реакції.

У випадку, якщо витрата в трубопроводі наближається до допустимого значення спрацьовує світлова сигналізація (лампочки HL13- HL14).

У випадку аварійної ситуації в 13 та 14 контурах сигнал подається на станцію керування (поз. 14-2), далі сигнал йде на пускач магнітний (поз. 14-1), що підсилює сигнал і подає його на електричний виконавчий механізм (поз. 14), що перекриває подачу ізобутану на вході в реактор. У випадку, якщо витрата в трубопроводі наближається до допустимого значення спрацьовує світлова сигналізація (лампочки HL15- HL16).

У контурах справності роботи двигуна 15, 16, 17, 18, 19 у випадку аварійної ситуації сигнал з контролюючого та показуючого приладу (поз. 15-2, 16-2, 17-2, 18-2, 19-2) поступає на контур сигналізації та захисту, де спрацьовує світлова сигналізація, яка вмикає лампочки HL17 та HL18, HL19 та HL20, HL21

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						158
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

та HL22, HL23 та HL24, HL25 та HL26,. Також сигнали подаються в систему захисту, що вимикає двигуни.

#### **Б.2.4 Дистанційне керування**

Дистанційне керування електричними виконавчими механізмами (поз. 9, 10, 12, 14) здійснюється за рахунок сигналів, що поступають до станцій керування (поз. 9-2, 10-2, 12-2, 14-2), звідки сигнал поступає на магнітні пускачі (поз. 9-1, 10-1, 12-1, 14-1), де сигнал підсилюється і подається на вищеперераховані виконавчі механізми.

Також здійснюється дистанційне керування двигунами мішалок, за рахунок подачі сигналу на блок керування (поз. 21-2, 22-2, 23-2, 24-2, 25-2), далі сигнал йде на пускач магнітний (поз. 21-1, 22-1, 23-1, 24-1, 25-1), де сигнали підсилюються і подаються на двигуни.

#### **Висновок**

В магістерській дисертації описана технологічна схема виробництва базових компонентів бензину. Рішення по автоматизації в даній схемі успішні, це практично дає можливість виключити людину з процесу виробництва. Потрібно тільки присутність оператора, щоб слідкувати за витратами по приладах, які вдало розміщені на пульті керування. Дане виробництво для людини є відносно безпечне, і тому в схемі уваги захисту від шкідливих факторів приділено мало. Небезпеку являє тільки ураження струмом, але це питання досить успішно вирішено в схемі. Є перспектива модернізації і подальшого розвитку системи автоматизації даного технологічного процесу.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						159
Змн.	Арк.	№ док-м.	Піппис	Лат		

## Перелік посилань

1. Лукінюк М.В., Сташкевич П.М., Самсонов В.О.. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсів «Автоматизація виробничих процесів», «Технологічні вимірювання і прилади», «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» – К.: Політехніка, 2003. – Част. 1.
2. Методичні вказівки до дипломного проектування по розділі «Автоматизація виробничих процесів» Київ «КП» 1987 р.
3. Проектування систем автоматизації технологічних процесів. А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровський. 2-е вид. перероб. та доп.-М.: 1990.- 464с.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						160
Змн.	Арк.	№ док.	Піліпс	Лат		



## **Додаток В**

### **Документація до патентного дослідження**

## РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН71мп.066712 РП

Найменування теми Реактор

Шифр теми ЛН71мп.066712.001

Етап Проектування реактора та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень ЛН71мп.066712,  
18.09.2018

Обґрунтування регламенту пошуку:

**Предмет пошуку** – реактор.

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо реактора (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці)

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Німеччина, Китай.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 22 роки, регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2018 рр.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація:

МПК – B01J 12/00, 19/24, 19/18, 8/18, 8/42, 19/14, 8/12; C10L 3/10; B01F 7/16; C01B 33/021, 33/027; C30B 25/10, 28/14, 31/12.

Уніфікована десяткова класифікація УДК 665.612.2

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії з технології тепло та масообміну, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

Початок пошуку 18.09.2018

Закінчення пошуку 28.09.2018

Таблиця В.1 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держав а пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро спек- тивніс ть пошу ку	Джерела інформації
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Реактор	Визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна , США, Китай, Німеччи нна	МПК – В01J 12/00, 19/24, 19/18, 8/18, 8/42, 19/14, 8/12; C10L 3/10; B01F 7/16; C01B 33/021, 33/027; C30B 25/10, 28/14, 31/12 УДК 665.612.2	2017–2018	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; УРЖ “Джерело” (1995–2006 рр.). Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с.

ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛН71мп.066712 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛН71мп.066712, 18.09.2018.

Етап: проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:  
ЛН71мп.066712, 24.09.2018.

Номер, дата регламенту пошуку: ЛН71мп.066712, 25.09.2018.

Початок пошуку: 25.09.2018 Закінчення пошуку: 28.09.2018

Таблиця В.2 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Реактор	Патент №113839 (UA), МПК(2016.01) B01J 12/00, B01J 19/24(2006.01), C10L 3/10(2006.01). Реактор/ О. В. Фурс, А.Р. Степанюк (UA);– Заявка № u201609798, 23.09.2016; Опубл.10.02.2017 Бюл. №3.	Діє
Реактор пневматичним перемішуючим пристроєм	Патент №115348 (UA), МПК B01F 7/16(2006.01), B01J 19/18(2006.01). Реактор з пневматичним перемішуючим пристроєм/ О. О. Ревтов, С.І. Костик, В.Ю. Шибєцький, О.В. Перехрестенко (UA);– Заявка № u201612119, 29.11.2016; Опубл.12.06.2017 Бюл. №11.	Діє
Реактор для високотемперат урних процесів у псевдозріджен ому шарі	Патент №117157 (UA), МПК B01J 8/18(2006.01), B01J 8/42(2006.01), B01J 19/14(2006.01), C01B 33/021(2006.01), C01B 33/027(2006.01), C30B 25/10(2006.01), C30B 28/14(2006.01), C30B 31/12(2006.01). Реактор для високотемпературних процесів у псевдозрідженому шарі/ К.В. Сімейко, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, В.М. Дмитрієв (UA);– Заявка № u201506499, 01.07.2015; Опубл.26.06.2017 Бюл. №12.	Діє
Реактор з рухомим шаром	Патент № CN107983270A, Int.CI B01J 8/12, C10G 50/00. Moving-bed reactor, solid acid alkylation reaction system and solid acid alkylation reaction method/ J. Long, B. Zhu (CN); – Заявка №CN201610951743, 2016-10-27, Опубл. 2018-05-04.	Діє
Ректор алкилювання	Патент № CN207137922U, Int.CI B01J 19/18, B01J 8/10. Effectual reactor of alkylation reaction/ Q. Li (CN); – Заявка №CN201721045163U, 2017-08-21, Опубл. 2018-03-27.	Діє

Таблиця В.3 – Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
1	2	3
Реактор	Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.М. “Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающий промышленности”	Л., Химия, 1974. – 374 стр.

Таблиця В.4 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Реактор	Україна, США, Німеччина Японія, Китай	МПК – B01J 12/00, 19/24, 19/18, 8/18, 8/42, 19/14, 8/12; C10L 3/10; B01F 7/16; C01B 33/021, 33/027; C30B 25/10, 28/14, 31/12 УДК 665.612.2	Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> <a href="http://ukrpatent.org/">http://ukrpatent.org/</a>	Описи винаходів патентів України Описи корисних моделей патентів України Офіційний бюлетень "Промислова власність" Офіційні бюлетені Інтернет-сайти Укрпатенту, Європейського патентного відомства, патентного відомства США	Журнали "Химическое, нефтеперерабатывающее и полимерное машиностроение", УРЖ "Хімічна промисловість України" А. Г. Касаткин Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 756 с Плановский А.Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии М.: Химия, 1972. - 496 с

## РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН71мп.065121 РП

Найменування теми Теплообмінник

Шифр теми ЛН71мп.065121.001

Етап Проектування теплообмінника та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень ЛН71мп.065121,  
18.09.2018

Обґрунтування регламенту пошуку:

**Предмет пошуку** – теплообмінник.

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо теплообмінника (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці)

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Німеччина, Китай.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 22 роки, регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2018 рр.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація:

МПК – F28F 1/42, 1/10, 1/22, 1/36, 9/02, 9/00, 9/013; F26D 7/00, 7/10, 1/047, 7/16.

Уніфікована десяткова класифікація УДК 665.612.2

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії з технології тепло та масообміну, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

Початок пошуку 18.09.2018

Закінчення пошуку 28.09.2018

Таблиця В.5 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держав а пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро спек- тивніс ть пошу ку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Теплообмінник	Визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна , США, Китай, Німеччина	МПК – F28F 1/42, 1/10, 1/22, 1/36, 9/02, 9/00, 9/013; F26D 7/00, 7/10, 1/047, 7/16 УДК 665.612.2	2017–2018	Національний й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; УРЖ “Джерело” (1995–2006 рр.). Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с.



ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛН71мп.065121 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛН71мп.065121, 18.09.2018.

Етап: проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:  
ЛН71мп.065121, 24.09.2018.

Номер, дата регламенту пошуку: ЛН71мп.065121, 25.09.2018.

Початок пошуку: 25.09.2018 Закінчення пошуку: 28.09.2018

Таблиця В.6 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Кожухотрубний теплообмінник	Патент №115348 (UA), МПК F28F 1/42(2006.01). Кожухотрубний теплообмінник /К. В. Драгузя, В.Л. Дахненко (UA);– Заявка № u201611398, 10.11.2016; Опубл.10.04.2017 Бюл. №7.	Діє
Перехресний кожухотрубний теплообмінник	Патент №116787 (UA), МПК(2017.01) F26D 7/00, F28F 1/10 (2006.01). Пеерехресний кожухотрубний теплообмінник/ О. О. Ревтов, С. І. Костик В.Ю. Шибецький, В.М. Поводзинський(UA); – Заявка № u201611434, 16.12.2016; Опубл.12.06.2017, Бюл.№11.	Діє
Теплообмінник “Труба в трубі”	Патент № 121939 (UA), МПК F26D 7/10(2006.01), F26F 1/22(2006.01), F26F 1/36(2006.01). Теплообмінник “Труба в трубі”/ І. О. Мікульонок, І.А. Андрєєв, А.А. Довгошея (UA);–Заявка № u201705544, 06.06.2017; Опубл.26.12.2017, Бюл.№24.	Діє
Кожухотрубний теплообмінник	Патент № JP2018054216A, Int.CI F28D 1/047, F28D 7/16, F28F 9/02. Shell and-tube type heat exchanger/ S. Shota (JP); – Заявка №JP20160190471, 2016-09-29, Опубл. 2018-04-05.	Діє
Кожухотрубний теплообмінник	Патент №US2017205147, Int.CI F26D 7/16, F28F 9/00, F28F 9/013. Shell and tube type heat exchanger / R. Enrico (IT); – Заявка №US201515326355, 2015-06-19, Опубл. 2017-07-20.	Діє

Таблиця В.7 – Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
1	2	3
Теплообмінник	Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов/Под П. Г. Романкова	Л.: Химия, 1987. – 576 стр.

Таблиця В.8 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його скл. част.)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Теплообмінник	Україна, США, Німеччина Японія, Китай	МПК – F28F 1/42, 1/10, 1/22, 1/36, 9/02, 9/00, 9/013; F26D 7/00, 7/10, 1/047, 7/16 УДК 665.612.2	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> <a href="http://ukrpatent.org/">http://ukrpatent.org/</a>	Описи винаходів патентів України Описи корисних моделей патентів України Офіційний бюлетень "Промислова власність" Офіційні бюлетені Інтернет-сайти Укрпатенту, Європейського патентного відомства, патентного відомства США	Журнали "Химическое, нефтеперерабатывающее и полимерное машиностроение", УРЖ "Хімічна промисловість України" А. Г. Касаткин Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 756 с Плановский А.Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии М.: Химия, 1972. - 496 с

**Додаток Г**

**Таблиця ідентифікаторів, блок-схема розрахунку,  
програма розрахунку діаметрів штуцерів**

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						172
Змн.	Арк.	№ докум.	Піппис	Лат		

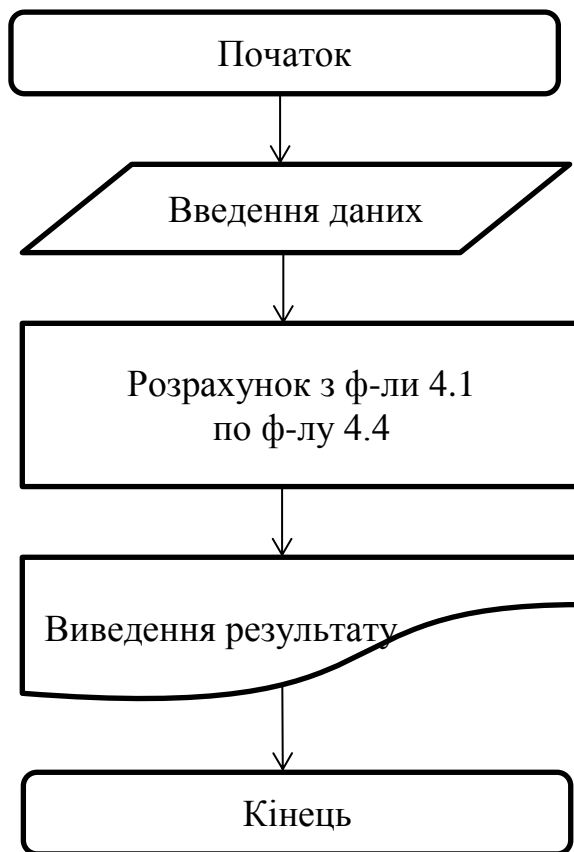
Таблиця ідентифікаторів до програми розрахунку діаметрів штуцерів наведена в таблиці Г.1.

Таблиця Г.1 – Ідентифікатори програми.

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Позначення	Ідентифікатор
Масові витрати сировини	кг/с	$G_{cm}$	$G_{cm}$
Масові витрати сірчаної кислоти	кг/с	$G_{pc}$	$G_{pc}$
Діаметр штуцера для входу розчину	м	$d_{cm}$	$d_{cm}$
Діаметр штуцера для виходу розчину	м	$d_{pc}$	$d_{pc}$
Прийнятий діаметр штуцера для входу розчину	м	$d_{вн1}$	$D_{cm}$
Прийнятий діаметр штуцера для виходу розчину	м	$d_{вн2}$	$D_{pc}$
Густина сировини	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{cm}$	$\rho_{cm}$
Густина сірчаної кислоти	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{pc}$	$\rho_{pc}$
Швидкість руху сировини	м/с	$\omega_{cm}$	$\omega_{cm}$
Швидкість руху сірчаної кислоти	м/с	$\omega_{pc}$	$\omega_{pc}$

Блок-схема алгоритму програми розрахунку діаметрів штуцерів наведена на рисунку Г.1.

Рисунок Г.1 – Блок-схема алгоритму програми розрахунку



# Програма розрахунку діаметрів штуцерів

$$\rho_{cm} := 642 \quad \rho_{pc} := 1820$$

$$G_{cm} := 4.17 \quad G_{pc} := 12.2$$

$$\omega_{cm} := 1 \quad \omega_{pc} := 0.5$$

$$V_{cm} := \frac{G_{cm}}{\rho_{cm}} = 6.495 \times 10^{-3}$$

$$d_{cm} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{cm}}{\pi \cdot \rho_{cm} \cdot \omega_{cm}}} = 0.091$$

$$d_{pc} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{pc}}{\pi \cdot \rho_{pc} \cdot \omega_{pc}}} = 0.131$$

$$D_{cm} := 0.150 \quad D_{pc} := 0.250$$

$$\omega_{cm} := \frac{4 G_{cm}}{\pi \cdot \rho_{cm} \cdot D_{cm}^2} = 0.368$$

$$\omega_{pc} := \frac{4 G_{pc}}{\pi \cdot \rho_{pc} \cdot D_{pc}^2} = 0.137$$

## **Додаток К**

### **Патенти, які використані в патентному дослідженні**





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113839** (13) **U**  
(51) МПК (2016.01)  
**B01J 12/00**  
**B01J 19/24** (2006.01)  
**C10L 3/10** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2016 09798</b>	(72) Винахідник(и): <b>Фурс Олександр Володимирович (UA), Степанюк Андрій Романович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>23.09.2016</b>	(73) Власник(и): <b>Фурс Олександр Володимирович, бульвар Кольцова, 18-а, к. 7, м. Київ, 03194 (UA), Степанюк Андрій Романович, просп. В. Маяковського, 66-а, кв. 132, м. Київ-232, 02232 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.02.2017</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.02.2017, Бюл.№ 3</b>	

**(54) РЕАКТОР**

**(57) Реферат:**

Реактор являє собою кожухотрубний апарат. Реакційні труби містять спіральні елементи довжиною 5-8 внутрішніх діаметрів труби, розташовані на вході в реакційні труби.

**UA 113839 U**



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **116817** (13) **U**  
(51) МПК  
**B01F 7/16** (2006.01)  
**B01J 19/18** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2016 12119</b>	(72) Винахідник(и): <b>Ревтов Олексій Олександрович (UA), Костик Сергій Ігорович (UA), Шибецький Владислав Юрійович (UA), Перехрестенко Олена Василівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>29.11.2016</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.06.2017</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.06.2017, Бюл.№ 11</b>	(73) Власник(и): <b>Ревтов Олексій Олександрович, вул. Ушакова, 16, кв. 308, м. Київ, 03179 (UA), Костик Сергій Ігорович, вул. М. Донця, 18, кв. 15, м. Київ, 03126 (UA), Шибецький Владислав Юрійович, вул. Пушкінська, 23-а, кв. 11, м. Київ, 01004 (UA), Перехрестенко Олена Василівна, вул. Борщагівська, 146, к. 508, м. Київ, 03056 (UA)</b>

**(54) РЕАКТОР З ПНЕВМАТИЧНИМ ПЕРЕМІШУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ**

**(57) Реферат:**

Реактор містить вал, на якому розташований механічний перемішуючий пристрій. Вал з мішалкою виконані у вигляді однієї пустотілої деталі з соплами, які напрямлені під кутом 90° до нормалі осі вала.

**UA 116817 U**



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117157** (13) **U**  
(51) МПК

*B01J 8/18 (2006.01)*  
*B01J 8/42 (2006.01)*  
*B01J 19/14 (2006.01)*  
*C01B 33/021 (2006.01)*  
*C01B 33/027 (2006.01)*  
*C30B 25/10 (2006.01)*  
*C30B 28/14 (2006.01)*  
*C30B 31/12 (2006.01)*

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: а 2015 06499	(72) Винахідник(и): Сімейко Костянтин Віталійович (UA), Бондаренко Борис Іванович (UA), Кожан Олексій Пантелеймонович (UA), Дмитрієв Валерій Максимович (UA)
(22) Дата подання заявки: 01.07.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.06.2017	
(41) Публікація відомостей про заяву: 25.11.2015, Бюл.№ 22	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Дегтярівська, 39, м. Київ, 03113 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.06.2017, Бюл.№ 12	

**(54) РЕАКТОР ДЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОЦЕСІВ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ****(57) Реферат:**

Реактор для високотемпературних процесів у псевдозрідженому шарі включає зовнішній циліндричний корпус з теплоізоляцією, в якому встановлено реакційну камеру з псевдозрідженим шаром, у верхній частині якої співвісно встановлений рухомий електрод, а у нижній - повітряна камера з газопровідними трубками та газорозподільними ковпачками. Він оснащений нагрівальною камерою з нагрівним елементом, розміщеним всередині внутрішньої теплоізоляції корпусу, а газопровідні трубки з газорозподільними ковпачками з'єднані з джерелом живлення.

UA 117157 U

(19)中华人民共和国国家知识产权局



## (12)发明专利申请



(10)申请公布号 CN 107983270 A

(43)申请公布日 2018.05.04

(21)申请号 201610951743.6

(22)申请日 2016.10.27

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街  
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司石油化  
工科学研究院

(72)发明人 龙军 朱丙田 侯栓弟 武雪峰  
毛俊义 唐晓津 胡立峰 李永祥

(51)Int. Cl.

B01J 8/12(2006.01)

C10G 50/00(2006.01)

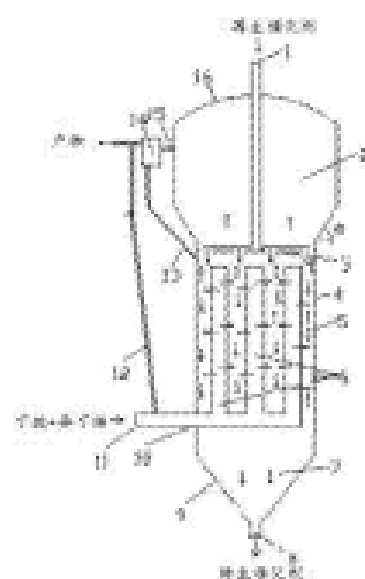
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

### (54)发明名称

一种移动床反应器,固体酸烷基化反应系统  
及固体酸烷基化反应方法

### (57)摘要

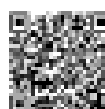
一种移动床反应器、固体酸烷基化反应系统  
及固体酸烷基化反应方法,移动床反应器包括反  
应器壳体、流体分配器、固体颗粒分配器和进料  
系统,所述的反应器壳体内部空间自下而上分为  
颗粒收集区、反应区、颗粒沉降区,所述的流体分  
配器设置于反应区内,其底部与流体进料口连  
通,所述的固体颗粒分配器位于反应区上部,其  
顶部与催化剂进口连通,所述的颗粒收集区底部  
设置催化剂出口。本发明提供的移动床反应器适  
用于固体酸烷基化反应,烷基化原料在反应区内  
与催化剂逆流、逆流接触反应,增加反应过程  
中异构烷与轻烯烃的比例,避免烯烃间发生加  
成反应,提高目的产物的选择性。



(19)中华人民共和国国家知识产权局



## (12)实用新型专利



(10)授权公告号 CN 207137922 U

(45)授权公告日 2018.03.27

(21)申请号 201721045163.7

(22)申请日 2017.08.21

(73)专利权人 江苏祺成化工有限公司

地址 223001 江苏省淮安市盐化工区洪泽  
片外环西路东侧,郭桥路南侧

(72)发明人 李青

(74)专利代理机构 北京挺立专利事务所(普通  
合伙) 11265

代理人 倪钊芳

(51)Int.Cl.

B01J 19/18(2006.01)

B01J 8/18(2006.01)

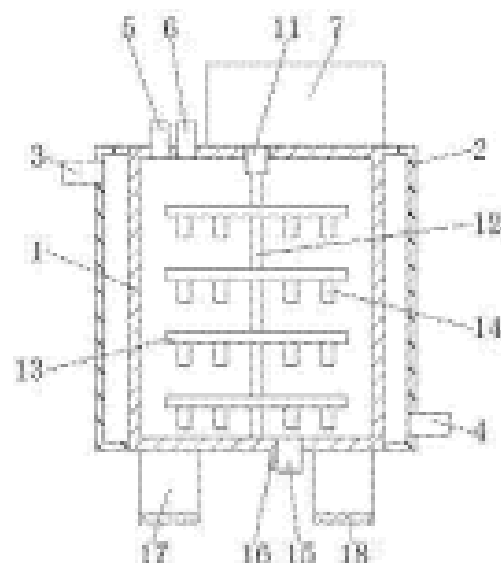
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

### (54)实用新型名称

一种烷基化反应效果好的反应器

### (57)摘要

本实用新型公开了一种烷基化反应效果好的反应器,包括反应釜,所述反应釜的表面套设有冷凝箱,所述冷凝箱左侧的顶部连通有出水管,所述冷凝箱右侧的底部连通有进水管,所述反应釜顶部的左侧从左至右依次连通有反应物进料管和催化剂进料管,所述反应釜顶部的右侧固定连接有箱体。本实用新型通过反应釜、箱体、电机、第一锥形齿轮、第二锥形齿轮、旋转轴、旋转杆、搅拌叶和搅拌棒的配合使用,解决了现有烷基化反应器在反应物进行反应时,催化剂和反应物不能充分混合,反应物反应时反应得不够充分的问题,该烷基化反应效果好的反应器,具备反应物与催化剂能够充分混合的优点,提高了生成物的产率,提高了烷基化反应器的实用性。





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 115348

(13) U

(51) МПК

F28F 1/42 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2016 11398	(72) Винахідник(и):	Драгуза Костянтин Васильович (UA), Дахненко Валерій Леонідович (UA)
(22) Дата подання заявки:	10.11.2016	(73) Власник(и):	Драгуза Костянтин Васильович, вул. Борщагівська, 146, к. 6-11, м. Київ-03, 03056 (UA), Дахненко Валерій Леонідович, вул. Миколи Василенка, 6-Б, кв. 69, м. Київ- 124, 03124 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.04.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.04.2017, Бюл. № 7		

## (54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК

### (57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник складається з циліндричного кожуха, кришки і дна, двох трубних решіток із закріпленими в них теплообмінними трубами із рельєфною поверхнею у вигляді внутрішніх спіралеподібних канавок і голок, розташованих на зовнішній поверхні цих же труб. Рельєфна поверхня виконана у вигляді пружинних дисків з отворами, розташованих на зовнішній поверхні теплообмінних труб.

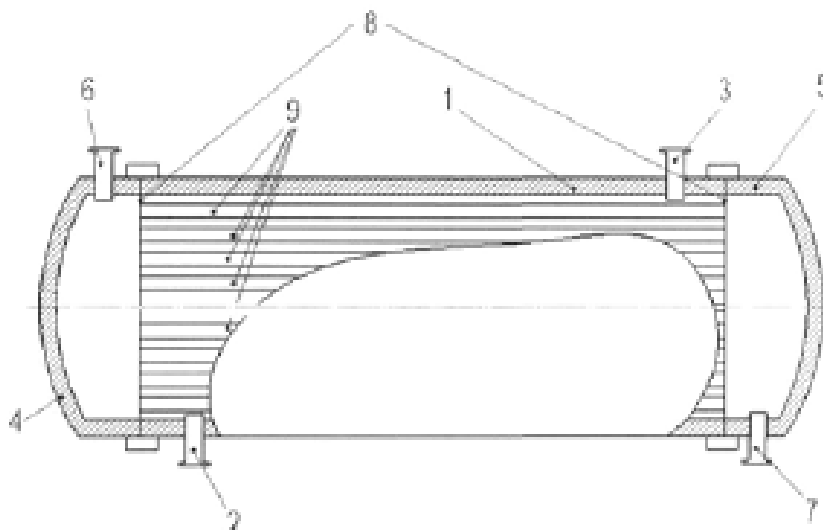


Fig. 1

UA 115348 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **116787** (13) **U**  
(51) МПК (2017.01)  
F28D 7/00  
F28F 1/10 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2016 11434</b>	(72) Винахідник(и): Ревтов Олексій Олександрович (UA), Костик Сергій Ігорович (UA), Шибєцький Владислав Юрійович (UA), Поводзинський Вадим Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: <b>16.12.2016</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.06.2017</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.06.2017, Бюл.№ 11</b>	(73) Власник(и): Ревтов Олексій Олександрович, вул. Ушакова, 16, кв. 308, м. Київ, 03179 (UA), Костик Сергій Ігорович, вул. М. Донця, 18, кв. 15, м. Київ, 03126 (UA), Шибєцький Владислав Юрійович, вул. Пушкінська, 23-а, кв. 11, м. Київ, 01004 (UA), Поводзинський Вадим Миколайович, бул. Давидова, 19/1, кв. 77, м. Київ, 02154 (UA)

**(54) ПЕРЕХРЕСНИЙ КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК**

**(57) Реферат:**

Перехресний кожухотрубний теплообмінник містить трубні секції зі спеціальним орєбренням, при цьому трубні секції розташовані під кутом 90° одна відносно іншої, утворюючи канал складної форми.

**UA 116787 U**



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **121939** (13) **U**

(51) МПК

**F28D 7/10** (2006.01)**F28F 1/22** (2006.01)**F28F 1/36** (2006.01)МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2017 05544</b>	(72) Винахідник(и): <b>Мікульонок Ігор Олегович (UA), Андреев Ігор Анатолійович (UA), Довгошея Артем Андрійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>06.06.2017</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.12.2017</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.12.2017, Бюл.№ 24</b>	(73) Власник(и): <b>Мікульонок Ігор Олегович, вул. Райдужна, 10, кв. 137, м. Київ, 02218 (UA), Андреев Ігор Анатолійович, пр-кт Леся Курбаса, 18, кв. 136, м. Київ, 03162 (UA), Довгошея Артем Андрійович, вул. Металістів, 8, кв. 539, м. Київ, 03057 (UA)</b>

**(54) ТЕПЛООБМІННИК "ТРУБА В ТРУБІ"****(57) Реферат:**

Теплообмінник "труба в трубі" містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями. Всередині кожного калача розміщено трубчасту полімерну вставку зі спіральними ребрами на її внутрішній поверхні. На одному з торців кожної трубчастої полімерної вставки виконано розборткування для її розміщення в заглибині фланця.

**UA 121939 U**



(18) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2018-54216  
P2018-54216A

(43) 公開日 平成30年4月5日(2018. 4. 5)

(51) Int. Cl.			F i			テーマコード (参考)	
F 2 B D	7/16	(2006. 01)	F 2 B D	7/16	D	3 L 1 O 3	
F 2 B F	9/02	(2006. 01)	F 2 B F	9/02	3 O 1 E	5 H 1 2 7	
F 2 B D	1/047	(2006. 01)	F 2 B D	1/047	B		
H O 1 M	8/04	(2016. 01)	H O 1 M	8/04	N		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2016-190471 (P2016-190471)	(71) 出願人	000175272 三浦工業株式会社 愛媛県松山市堀江町 7 番地
(22) 出願日	平成28年8月28日 (2016. 8. 28)	(74) 代理人	150110685 弁理士 小山 万宜
		(72) 発明者	清水 剛太 愛媛県松山市堀江町 7 番地 三浦工業株式 会社内
		F ターム (参考)	3L1O3 A05 A06 A12 A16 B03 C02 C27 B06 B02 B04 B02 5H127 A03 B03 B43 B18 B23 C03 B15

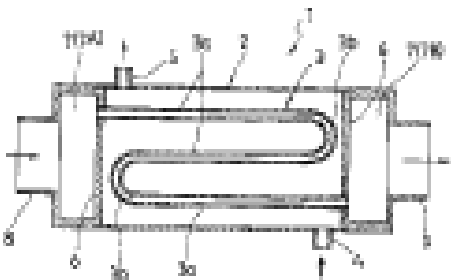
(54) 【発明の名称】 シェルアンドチューブ式熱交換器

(57) 【要約】

【課題】 小型で、温度変化によるチューブの伸縮にも対応でき、絶手スペースを確保しやすく、圧力損失の低減も図れるシェルアンドチューブ式熱交換器を提供する。

【解決手段】 第一流体が通される中空状のシェル2と、このシェル2 内に配置されて第二流体が通されるチューブ3とを備える。チューブ3 は、左右に蛇行しつつ下方へ進みながら、シェル2 の左右に掛け渡される。詳しくは、シェル2 の左右には、隔壁6 を介して中空状のヘッダ7 が設けられており、左右のヘッダ7 を掛け渡すように、複数本のチューブ3 が前後に離隔して設けられる。そして、各チューブ3 の端部は、各ヘッダ7 内に閉口されており、シェル2 の上下に、第一流体の出入口4、5 が設けられる一方、左右のヘッダ7 に、第二流体の出入口8、9 が設けられる。

【選択図】 図1





US 20170205147A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**  
**RIZZI**(10) **Pub. No.: US 2017/0205147 A1**(43) **Pub. Date: Jul. 20, 2017**(54) **SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER****F28F 9/02** (2006.01)**F28F 9/00** (2006.01)(71) Applicant: **Casale SA, Lugano (CH)**(52) **U.S. Cl.**(72) Inventor: **Enrico RIZZI, Casnate con Bernate (CO) (IT)**CPC ..... **F28D 7/1607** (2013.01); **F28F 9/001** (2013.01); **F28F 9/0131** (2013.01); **F28F 9/0202** (2013.01); **F28F 9/0241** (2013.01); **F28D 2021/0059** (2013.01)(73) Assignee: **Casale SA, Lugano (CH)**(21) Appl. No.: **15/326,355**(57) **ABSTRACT**(22) PCT Filed: **Jun. 19, 2015**(86) PCT No.: **PCT/EP2015/063867**

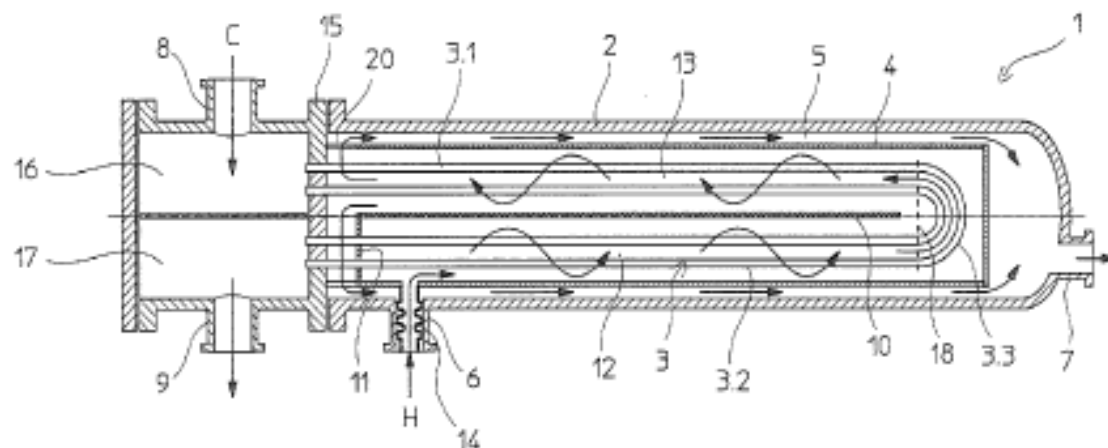
§ 371 (c)(1),

(2) Date: **Jan. 13, 2017**(30) **Foreign Application Priority Data**

Jul. 16, 2014 (EP) ..... 14177210.3

**Publication Classification**(51) **Int. Cl.****F28D 7/16** (2006.01)**F28F 9/013** (2006.01)

Shell and tube heat exchanger (1) comprising a first outer shell (2) and a tube bundle (3), inlet and outlet interfaces communicating with the shell side and with the tube side for a first fluid and for a second fluid respectively, wherein the exchanger comprises a second shell (4) which is inside said first shell (2) and surrounds said tube bundle (3); said second shell (4) comprises at least one releasable longitudinal joint (32) and a plurality of longitudinal sections connected by releasable joints; said second shell (4) delimits the shell side of the exchanger (1) around said tube bundle (3), and further defines a flushing interspace (5) communicating with said shell side, said first fluid flows through said shell side along one or more longitudinal passages, and said first fluid and said second fluid are counter-current along said one or more longitudinal passages.



## **Додаток Л**

### **Публікації автора**

## **Публікації автора**

пошукача кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

**Чеберда Владислава Олександровича**

1. Чеберда В.О Модернізація установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину з розробкою реактора, теплообмінника та охолоджувача / В.О. Чеберда, А.Р. Степанюк// Збірник тез доповідей XXI всеукраїнської науково–практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – 2017. - с.78-79.

2. Пат. №124283 України. МПК (2018.01) F28F 9/00, F28D 7/16 (2006.01), F28F 1/42 (2006.01). Кожухотрубний теплообмінник/ Чеберда В.О., Степанюк А.Р.; заявники Чеберда В.О., Степанюк А.Р.; № у 2017012290; заявл. 12.12.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. №6.

3. Чеберда В.О. Кожухотрубний теплообмінник для виробництва базових компонентів бензину / В.О. Чеберда, А.Р. Степанюк // Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково–практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання». – 2018. - с.76-77.

4. Чеберда В.О. Модернізація кожухотрубного теплообмінника / В.О. Чеберда, А.Р. Степанюк // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»: технічні науки. – 2018. – №5(45). – С. 92-94.

5. Чеберда В.О. Кожухотрубний теплообмінник для виробництва базових компонентів бензину / В.О. Чеберда, А.Р. Степанюк // Збірник тез доповідей XV міжнародної науково–практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання». – 2018.

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ГАЗІВ ВИРОБНИЦТВА БАЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ БЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ РЕАКТОРА, ТЕПЛООБМІННИКА ТА ОХОЛОДЖУВАЧА**

студент Чеберда В.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

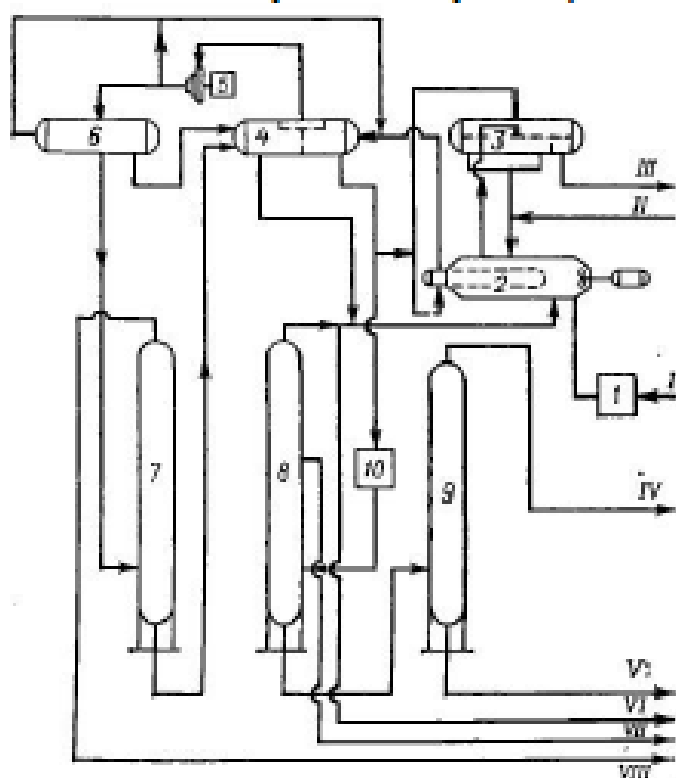
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бензин це горюча суміш легких вуглеводнів. Після появи двигуна внутрішнього згорання, бензин став одним з головних продуктів нафтопереробки. Однак у міру поширення дизельних двигунів на перший план стало виходити дизельне паливо, завдяки більш високому ККД [1].

Бензин застосовується як паливо для карбюраторних і інжекторних двигунів, високо-ракетне паливо, при виробництві парафіну, як розчинник, як горючий матеріал, сировину для нафтохімії. Прямогонний бензин або бензин газовий стабільний.

Технологічна схема установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину зображена на рисунку 1 [2].

Технологічна схема установки включає блоки підготовки сировини, реакторний, ректифікаційний і регенерації відпрацьованої сірчаної кислоти. На блоку підготовки сировини відбувається змішування і усереднення потоків сировини, сушка, видалення сірчаних та дієнових вуглеводів. Сировиною установки полімеризації є ізобутан, бутан-бутиленова і пропан-пропіленова фракції, які отримуються переважно в процесах каталітичного і термічного крекінгу. Каталізатором є сірчана кислота з концентрацією від 99.5 до 86 % по моногідрату. В свіжій кислоті не допускається вміст вільного  $SO_3$ . Каталітичні властивості кислоти змінюються по мірі накопичення в ній вуглеводів, що розчиняються та води. Відпрацьована сірчана кислота на сучасних установках направляється на регенерацію методом високотемпературного термічного розщеплення.



1 – блок підготовки сировини; 2 – контактор алкілування; 3 – відстійник кислоти; 4- сепаратор; 5 - компресор; 6 – Ємність для газоконденсату;  
7,8,9 – ректифікаційні колони; 10 – вузол очищення алкілопродуктів від ефірів сірчаної кислоти; I – сировина; II – свіжа кислота; III – відпрацьована кислота на блок регенерації; IV – легкий алкілат; V – важкий алкілат; VI – ізобутан; VII – н-бутан; VIII – пропан.

Рисунок 1 – Технологічна схема установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину

Метою даної роботи є модернізація реактора, теплообмінника та охолоджувача, виконання їх параметричних розрахунків та визначення геометричних розмірів.

#### Перелік посилань.

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki> від 29.10.2017
2. Г.А. Ластовкин, Е.Д. Радченко, М.Г. Рудина, Справочник нефтепереработчика, 1986.

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ГАЗІВ ВИРОБНИЦТВА БАЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ БЕНЗИНУ З РОЗРОБКОЮ РЕАКТОРА, ТЕПЛООБМІННИКА ТА ОХОЛОДЖУВАЧА**

студент Чеберда В.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

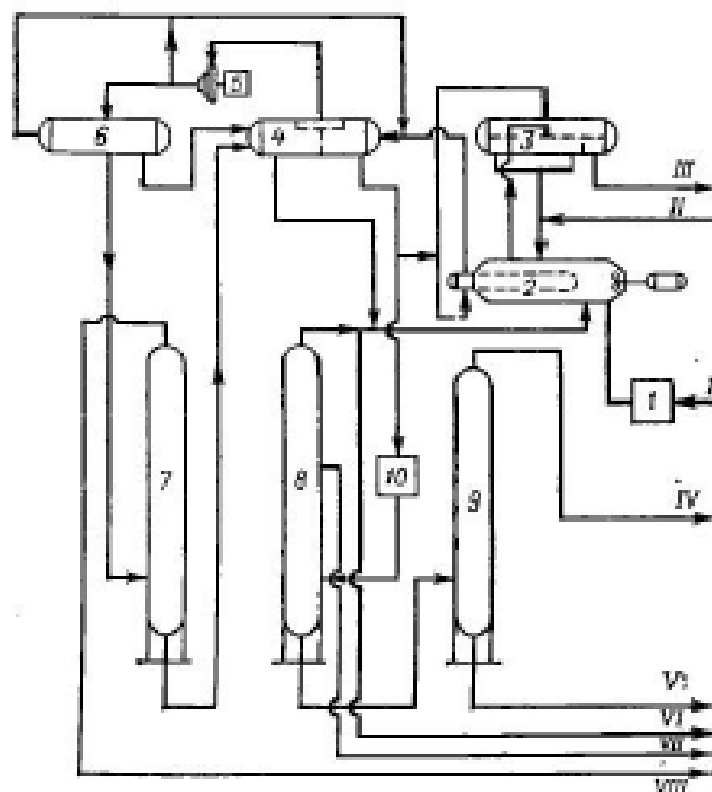
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бензин це горюча суміш легких вуглеводнів. Після появи двигуна внутрішнього згоряння, бензин став одним з головних продуктів нафтопереробки. Однак у міру поширення дизельних двигунів на перший план стало виходити дизельне паливо, завдяки більш високому ККД [1].

Бензин застосовується як паливо для карбюраторних і інжекторних двигунів, високо-ракетне паливо, при виробництві парафіну, як розчинник, як горючий матеріал, сировину для нафтохімії прямогонний бензин або бензин газовий стабільний.

Технологічна схема установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину зображена на рисунку 1 [2].

Технологічна схема установки включає блоки підготовки сировини, реакторний, ректифікаційний і регенерації відпрацьованої сірчаної кислоти. На блоку підготовки сировини відбувається змішування і усереднення потоків сировини, сушка, видалення сірчаних та дієнових вуглеводів. Сировиною установки полімеризації є ізобутан, бутан-бутиленова і пропан-пропіленова фракції, які отримуються переважно в процесах каталітичного і термічного крекінгу. Каталізатором є сірчана кислота з концентрацією від 99.5 до 86 % по моногідрату. В свіжій кислоті не допускається вміст вільного  $\text{SO}_3$ . Каталітичні властивості кислоти змінюються по мірі накопичення в ній вуглеводів, що розчиняються та води. Відпрацьована сірчана кислота на сучасних установках направляється на регенерацію методом високотемпературного термічного розщеплення.



1 – блок підготовки сировини; 2 – контактор алкілування; 3 – відстійник кислоти; 4 – сепаратор; 5 – компресор; 6 – Ємність для газоконденсату; 7,8,9 – ректифікаційні колони; 10 – вузол очищення алкілопродуктів від ефірів сірчаної кислоти; I – сировина; II – свіжа кислота; III – відпрацьована кислота на блок регенерації; IV – легкий алкілат; V – важкий алкілат; VI – ізобутан; VII – н-бутан; VIII – пропан.

Рисунок 1 – Технологічна схема установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину

Метою даної роботи є модернізація реактора, теплообмінника та охолоджувача, виконання їх параметричних розрахунків та визначення геометричних розмірів.

#### Перелік посилань.

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki> від 29.10.2017
2. Г.А. Ластовкин, Е.Д. Радченко, М.Г. Рудина, Справочник нефтепереработчика, 1986.



УДК 66.048

**Чеберда Владислав Олександрович**

*магістрант*

*Національного технічного університету України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Чеберда Владислав Александрович**

*магистрант*

*Национального технического университета Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Cheberda Vladyslav**

*Student of the*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Степанюк Андрій Романович**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Степанюк Андрей Романович**

*кандидат технических наук,*

*доцент кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Stepaniuk Andriy**

*PhD, Assistant Professor of Department of*

*Machines and Apparatus of Chemical and Petroleum Industries*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛОБІМІННИКА**

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛОБМЕННИКА**

## **MODERNIZATION OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER**

**Анотація.** Запропоновано та обґрунтовано теплообмінник установки полімеризації газів виробництва базових компонентів бензину.

**Ключові слова:** теплообмінник, теплообмінні труби, теплообмін.

**Аннотация.** Предложено и обосновано теплообменник установки полимеризации газов производства базовых компонентов бензина.

**Ключевые слова:** теплообменник, теплообменные трубы, теплообмен.

**Summary.** The heat exchanger of the polymerization plant of gas production of basic components of gasoline is proposed and substantiated.

**Key words:** heat exchanger, heat exchange pipes, heat exchange.

**Постановка проблеми.** Теплопередача у теплообміннику належить від площі поверхні, через яку відбувається передача тепла, та від теплопровідності матеріалу з якого виготовлені труби. Матеріал не змінюється, тому на теплопровідність вплинути не можна. Але якщо збільшити площу поверхні теплообміну, то при тому ж коефіцієнті теплопровідності, збільшиться кількість тепла, що передається. Для збільшення площі поверхні теплообміну використовуються теплообмінні труби з параболічними виступами на зовнішній поверхні.

Метою статті є визначення впливу геометричних параметрів теплообмінних труб на ефективність теплообміну.

**Виклад основного матеріалу.** Метою роботи є визначення впливу геометричних параметрів теплообмінних труб на ефективність теплообміну, зокрема визначення впливу параболічних виступів на зовнішній поверхні теплообмінних труб на інтенсивність проходження процесу теплообміну.

Кожухотрубний теплообмінник, в якому розташовані теплообмінні труби з параболічними виступами на їх зовнішній поверхні наведено на рисунку 1 [1].

Кожухотрубний теплообмінник працює наступним чином.

Рідина, яку потрібно нагріти (або охолодити), під тиском надходить в камеру подачі. Далі рідина направляється по пучках теплообмінних трубок і повертає в днищі і по іншому трубному пучку надходить в камеру відводу.

В циліндричний кожух, надходить охолоджувачий (або нагрівачий) теплоносіє, котрий омиває теплообмінні пучки із труб, за рахунок чого рідина поступово нагрівається (або охолоджується), проходячи всі пучки теплообмінних трубок, і з потрібною температурою відводиться з апарату.

Запропоноване технічне рішення забезпечує необхідний режим турбулізації потоку в міжтрубному просторі із одночасним збільшенням площі кон-

такту, що забезпечує інтенсифікацію теплообміну, а отже і ефективність при експлуатації теплообмінного апарату.

Із основного рівняння теплопередачі (1) видно, що кількість теплоти, яку можна передати, можна збільшити за рахунок збільшення площі поверхні контакту  $F$  або збільшити коефіцієнт теплопередачі  $K$ , який розраховується за формулою 2 [2].

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta T, \quad (1)$$

де  $\Delta T = t_g - t_c$ ,  $t_g, t_c$  — температура гарячого і холодного теплоносія.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_c}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_g, \alpha_c$  — коефіцієнт тепловіддачі від гарячого теплоносія до стінки і від стінки до холодного теплоносія відповідно;  $\delta$  — товщина стінки;  $\lambda$  — коефіцієнт теплопровідності стінки.

Коефіцієнт теплопередачі  $K$  збільшено за рахунок зменшення товщини стінки  $\delta$  або збільшення площі поверхні  $F$  з боку меншого коефіцієнта тепловіддачі. Таким чином теплообмін буде інтенсивнішим, а отже і ефективність використання кожухотрубного теплообмінника зростає.

Площа поверхні стандартних теплообмінних труб:

$$F_1 = 2\pi RLn, \quad (3)$$

де  $R$  — радіус труби,  $L$  — довжина труби,  $n$  — кількість труб.

Площа поверхні теплообмінних труб з параболічними виступами на їх зовнішній поверхні:

$$F_2 = \left( 2\pi RL + \frac{2\pi(R+h)L}{a} \right) n \quad (4)$$

Після підстановки  $F_1$  і  $F_2$  в (1) отримаємо відповідно  $Q_1$  і  $Q_2$ . Якщо порівняти  $F_1$  і  $F_2$ , то видно, що  $F_1 < F_2$ , відповідно  $Q_1 < Q_2$ , де  $Q_1$  — це кількість

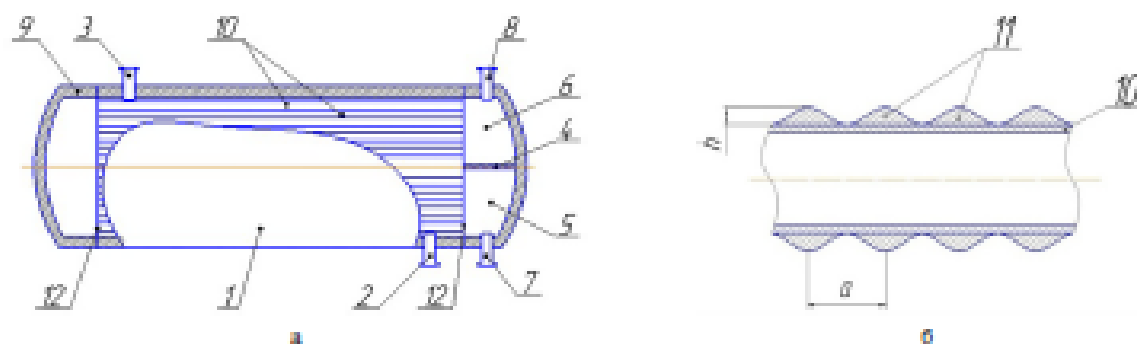


Рис. 1. Кожухотрубний теплообмінник: а) загальна схема; б) схема перерізу теплообмінної труби

1 — циліндричний кожух; 2, 3 — патрубок підведення та відведення продукту;

4 — кришка із перегородкою; 5, 6 — камера подачі та відводу теплоносія;

7, 8 — штупери підводу та відведення; 9 — днище; 10 — теплообмінні труби;

11 — параболічні виступи; 12 — трубні решітки.

тепла, що можна передати за допомогою стандартних труб,  $Q_0$  — це кількість тепла, що можна передати за допомогою труб за параболічними виступами на зовнішній поверхні.

**Висновки.** Порівнюючи кількості переданої енергії до модернізації і після отримусмо підвищену ефективність теплообмінника.

#### Література

1. Заявка 201712290 Кошукотрубний теплообмінник / В.О. Чеберда, А.Р. Степанок; заявник В.О. Чеберда — № 11 201712290; заявл. 12.12.2017.
2. [https://studopedia.su/6\\_21706\\_osnovne-rivnyannya-teploperedachi-koeffitsient-teploperedachi.html](https://studopedia.su/6_21706_osnovne-rivnyannya-teploperedachi-koeffitsient-teploperedachi.html) від 14.03.2018